



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**REDISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA  
POTABLE DEL SECTOR YAWARI DEL CANTÓN ARCHIDONA**

**Trabajo de Titulación presentado para obtener el Grado Académico de:**  
**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTOR: BYRON PATRICIO AREQUIPA TOAPANTA**  
**TUTORA: ING. MABEL PARADA**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2015**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal de trabajo de titulación certifica que: El trabajo de investigación REDISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DEL SECTOR YAWARI DEL CANTÓN ARCHIDONA de responsabilidad del señor Byron Patricio Arequipa Toapanta ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de trabajo de titulación, quedando autorizado su presentación.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Ing. Mabel Parada

**DIRECTORA DE TESIS**

Ing. Mayra Zambrano

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

**DOCUMENTALISTA SISBIB**

**ESPOCH**

Yo, Byron Patricio Arequipa Toapanta soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta investigación, y el patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

Byron Patricio Arequipa Toapanta

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto de titulación se lo dedico a DIOS por haberme dado la vida, y especialmente a mi madre quien con su cariño, consejos y comprensión supo guiarme por el buen camino, además por darme fuerzas de seguir adelante para poder enfrentar las adversidades que se presentan en el camino.

A mis hermanos por estar siempre presentes, acompañándome para poderme realizar profesionalmente.

*Byron*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco primeramente a Dios por haberme iluminado y guiarme por llegar hasta donde he llegado, porque gracias a su sabiduría supo bendecirme y cumplir uno de mis sueños tan anhelados.

A mi madre, por todo el sacrificio que tuvo que hacer con el fin de seguir superándome y formándome durante toda mi vida estudiantil y sobre todo por estar siempre a mi lado ya que es mi fortaleza de seguir adelante en los momentos más difíciles.

A mis hermanos que también me apoyaron y han estado pendientes siempre impulsándome a seguir adelante.

Al GAD Municipal de Archidona por permitirme realizar la investigación.

Además agradezco sinceramente a la Ing. Mabel Parada Directora de tesis, a la Ing. Mayra Zambrano en calidad de asesora de tesis, quien con sus conocimientos, experiencias, paciencia y motivación, supieron guiarme durante la elaboración de este proyecto.

A mis amigos por formar parte de este largo camino, con los cuales se ha compartido momentos inolvidables.

*Byron*

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b>	<b>XXIII</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>XXIV</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>ANTECEDENTES</b>	<b>2</b>
<b>JUSTIFICACIÓN</b>	<b>4</b>

### CAPITULO I

<b>1. MARCO TÉORICO</b>	<b>6</b>
1.1. Agua potable	6
1.1.1. Calidad del agua	6
1.2. Fuentes de abastecimiento de agua	7
1.2.1. Aguas superficiales	7
1.2.2. Aguas subterráneas	8
1.2.3. Aguas de lluvia	9
1.2.4. Aguas del mar y las aguas salobres	10
1.3. Características del agua	10
1.3.1. Características físicas del agua	10
1.3.1.1. Turbidez	10
1.3.1.2. Color	11
1.3.1.3. Olor y Sabor	12
1.3.1.4. Temperatura	12
1.3.1.5. Conductividad	12
1.3.2. Características químicas del agua	13
1.3.2.1. Alcalinidad	13
1.3.2.2. Acidez	13
1.3.2.3. Dureza	13
1.3.2.4. Hierro	14
1.3.2.5. Manganeseo	15
1.3.2.6. Sulfatos	15
1.3.2.7. Cloruros	15
1.3.2.8. Nitratos	15

1.3.2.9.	Aluminio -----	16
1.3.3.	Características bacteriológicas-----	16
1.3.3.1.	Coliformes totales -----	16
1.3.3.2.	Coliformes fecales -----	17
1.4.	Proceso de potabilización del agua -----	20
1.4.1.	Sistema de captación-----	20
1.4.2.	Desarenación -----	20
1.4.3.	Aducción -----	22
1.4.3.1.	Conducción por gravedad (Acueductos, Canales) -----	22
1.4.3.2.	Conducción forzada-----	22
1.4.4.	Coagulación -----	22
1.4.4.1.	Factores que influyen en la coagulación-----	23
1.4.4.2.	Coagulantes-----	23
1.4.4.2.1.	Clases de coagulantes -----	24
1.4.5.	Floculación -----	25
1.4.5.1.	Tipos de floculación -----	25
1.4.5.2.	Factores que influyen en la floculación -----	26
1.4.6.	Sedimentación -----	27
1.4.6.1.	Tipos de sedimentación -----	28
1.4.7.	Filtración -----	29
1.4.7.1.	Descripción de la filtración-----	29
1.4.7.2.	Sistemas de filtración-----	30
1.4.8.	Desinfección-----	32
1.4.8.1.	Compuestos de cloro más utilizados-----	32
1.4.8.2.	Factores que influyen en la desinfección -----	33
1.5.	Estado actual de la planta de tratamiento de agua potable del sector Yawari del cantón Archidona-----	33
1.5.1.	Captación -----	34
1.5.2.	Desarenador -----	35
1.5.3.	Pre cloración -----	35
1.5.4.	Pre filtros-----	36
1.5.5.	Filtros -----	36
1.5.6.	Desinfección-----	37
1.5.7.	Tanques de almacenamiento -----	38

1.6.	Rediseño de la planta de tratamiento de agua potable -----	38
1.6.1.	Medición del caudal -----	39
1.6.1.1.	Método velocidad/superficie -----	39
1.6.2.	Período del rediseño -----	40
1.6.3.	Áreas de cobertura -----	41
1.6.4.	Caudal para el diseño -----	41
1.6.4.1.	Población actual -----	41
1.6.4.2.	Población futura -----	41
1.6.4.3.	Nivel de complejidad del sistema -----	41
1.6.4.4.	Dotación neta-----	42
1.6.4.4.1.	Corrección por temperatura -----	42
1.6.4.5.	Dotación bruta -----	43
1.6.4.6.	Caudal medio diario -----	43
1.6.4.7.	Caudal máximo diario -----	43
1.6.4.8.	Caudal de captación-----	44
1.6.5.	Mezcla rápida -----	44
1.6.5.1.	Parámetro de diseño -----	45
1.6.5.2.	Mezcla rápida en vertederos rectangulares -----	46
1.6.6.	Floculación -----	50
1.6.6.1.	Pruebas de jarras-----	50
1.6.6.2.	Parámetros y recomendaciones generales de diseño -----	51
1.6.7.	Sedimentación -----	55
1.6.7.1.	Criterios de diseño -----	56
1.6.7.2.	Descripción de un sedimentador de tasa alta o alta velocidad -----	56
1.6.7.3.	Disposición de lodos-----	60
1.6.8.	Desinfección-----	61

## **CAPITULO II**

<b>2.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO -----</b>	<b>62</b>
2.1.	Metodología -----	62
2.1.1.	Localización de la investigación -----	62
2.1.2.	Método de recolección de la información -----	62
2.1.2.1.	Método inductivo-----	63
2.1.2.2.	Método deductivo -----	63
2.1.2.3.	Método experimental -----	63



2.1.3.	Muestreo -----	63
2.1.4.	Tratamiento de muestras -----	64
2.1.5.	Equipos, materiales y reactivos -----	65
2.1.6.	Métodos y técnicas -----	65
2.1.6.1.	Métodos -----	65
2.1.6.2.	Técnicas -----	67
2.1.6.2.1.	Caudal -----	67
2.1.6.2.2.	Potencial de hidrógeno pH -----	67
2.1.6.2.3.	Conductividad -----	68
2.1.6.2.4.	Turbidez -----	68
2.1.6.2.5.	Sólidos Totales Disueltos -----	68
2.1.6.2.6.	Color -----	69
2.1.6.2.7.	Sólidos Totales -----	69
2.1.6.2.8.	Cloruros -----	70
2.1.6.2.9.	Dureza -----	70
2.1.6.2.10.	Calcio -----	71
2.1.6.2.11.	Alcalinidad -----	71
2.1.6.2.12.	Aluminio -----	72
2.1.6.2.13.	Sulfatos -----	72
2.1.6.2.14.	Amonio Silicato -----	73
2.1.6.2.15.	Nitratos -----	73
2.1.6.2.16.	Nitritos -----	74
2.1.6.2.17.	Fosfatos -----	74
2.1.6.2.18.	Fluoruro -----	75
2.1.6.2.19.	Hierro -----	75
2.1.6.2.20.	Contaminación Microbiológica -----	75
2.2.	Datos experimentales -----	76
2.2.1.	Caracterización del agua de la vertiente del Río Calmituyacu -----	76
2.2.2.	Caracterización del agua de entrada y salida de la planta de tratamiento -----	77
2.2.3.	Caracterización del agua del Desarenador -----	82
2.2.4.	Pruebas de tratabilidad (Dosificación) -----	84
2.2.5.	Caracterización del agua después del tratamiento (Pruebas de jarras). -----	86

### CAPITULO III

<b>3.</b>	<b>MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS---</b>	<b>87</b>
3.1.	Consideraciones para el rediseño -----	87
3.1.1.	Medición del caudal de la planta -----	87
3.1.2.	Población futura -----	88
3.1.3.	Nivel de complejidad del sistema -----	89
3.1.4.	Dotación neta (Dn)-----	90
3.1.5.	Pérdidas técnicas -----	90
3.1.6.	Dotación bruta -----	91
3.1.7.	Caudal medio diario -----	91
3.1.8.	Caudal máximo diario-----	91
3.1.9.	Caudal de captación-----	92
3.2.	Cálculos para el rediseño de los procesos de potabilización-----	93
3.2.1.	Mezcla rápida en vertederos rectangulares -----	93
3.2.1.1.	Cálculo de la profundidad crítica del flujo, $h_c$ -----	93
3.2.1.2.	Cálculo de la distancia $L_m$ -----	93
3.2.1.3.	Cálculo de la profundidad del agua en la sección 1 -----	94
3.2.1.4.	Cálculo de la profundidad del agua en la sección 2 -----	94
3.2.1.5.	Cálculo de la pérdida de energía en el resalto, $h$ -----	95
3.2.1.6.	Cálculo de la longitud del resalto, $L_j$ -----	96
3.2.1.7.	Cálculo del tiempo de mezcla, $T$ -----	96
3.2.1.8.	Cálculo del gradiente de velocidad, $G$ -----	96
3.2.2.	Dosificación del coagulante-----	97
3.2.2.1.	Concentración de coagulante y alcalinizante ppm (mg/l) al 1% -----	97
3.2.2.2.	Consumo de sulfato de aluminio al día -----	99
3.2.2.3.	Consumo de alcalinizante al día-----	99
3.2.3.	Floculador hidráulico de flujo horizontal-----	99
3.2.3.1.	Distancia total recorrida del agua -----	100
3.2.3.2.	Área de los canales-----	100
3.2.3.3.	Ancho de canales del floculador -----	100
3.2.3.4.	Distancia entre el borde del floculador y el tabique -----	101
3.2.3.5.	Ancho del floculador -----	101
3.2.3.6.	Número de tabiques o canales -----	102
3.2.3.7.	Longitud del floculador -----	102

3.2.3.8.	Pérdida de carga en las vueltas -----	102
3.2.3.9.	Perímetro mojado de las secciones -----	103
3.2.3.10.	Radio hidráulico en los canales-----	103
3.2.3.11.	Pérdida de carga en los canales-----	103
3.2.3.12.	Pérdida de carga total-----	104
3.2.3.13.	Gradiente de velocidad-----	104
3.2.4.	Sedimentador de tasa alta o alta velocidad -----	105
3.2.4.1.	Área de sedimentación -----	105
3.2.4.2.	Velocidad promedio de flujo entre placas -----	105
3.2.4.3.	Longitud relativa del sedimentador de tasa alta -----	106
3.2.4.4.	Número de Reynolds -----	106
3.2.4.5.	Longitud de transición-----	107
3.2.4.6.	Longitud relativa del sedimentador de tasa alta corregida en la longitud de transición--- -----	107
3.2.4.7.	Velocidad de sedimentación crítica-----	107
3.2.4.8.	Tiempo de retención en las placas -----	108
3.2.4.9.	Ancho del sedimentador -----	108
3.2.4.10.	Longitud del sedimentador -----	108
3.2.4.11.	Número de placas por módulo-----	109
3.2.4.12.	Tiempo de retención en el tanque de sedimentación -----	109
3.2.4.13.	Volumen del sedimentador-----	110
3.2.4.14.	Dimensionamiento de un lecho de secado-----	110
3.2.5.	Desinfección-----	112
3.2.5.1.	Cantidad de hipoclorito de calcio necesaria-----	112
3.3.	Resultados -----	113
3.3.1.	Resultados de los promedios semanales de la caracterización del agua de la planta de tratamiento-----	113
3.3.2.	Resultados de las Prueba de Tratabilidad (Dosificación)-----	116
3.3.3.	Resultados del agua después del tratamiento (Pruebas de Jarras).-----	119
3.3.4.	Resultados microbiológicos (Desinfección) -----	119
3.3.5.	Eficiencia del rediseño de la planta de tratamiento -----	121
3.4.	Propuesta-----	121
3.4.1.	Parámetros para el rediseño -----	123
3.4.2.	Procesos de Potabilización -----	123

3.4.3.	Dosificación -----	125
3.5.	Presupuesto -----	125
3.5.1.	Presupuesto del rediseño de la planta de potabilización -----	125
3.5.2.	Costos de químico al día -----	127
3.6.	Análisis y discusión de resultados -----	127
<b>CONCLUSIONES -----</b>		<b>130</b>
<b>RECOMENDACIONES -----</b>		<b>132</b>
<b>BILIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

$N_t$	Población futura de diseño.
$N_0$	Población actual.
$r$	Tasa media de crecimiento poblacional.
$t$	Tiempo de diseño.
$D_n$	Dotación neta (l/hab-día).
$D_b$	Dotación bruta (l/hab-día).
$Q_{med}$	Caudal medio diario.
$P$	Número de habitantes al final del período del diseño.
$Q_{Md}$	Caudal máximo diario.
$K_1$	Caudal máximo diario.
$Q_{captación}$	Caudal de captación.
$P$	Altura del vertedero.
$H$	Altura de la lámina de agua.
$h_c$	Profundidad crítica de flujo.
$g$	Gravedad.
$q$	Caudal por unidad de ancho del vertedero.
$Q$	Caudal actual.
$B$	Ancho del vertedero.
$h_1$	Profundidad antes del resalto.
$h_2$	Profundidad después del resalto.
$F_1$	Número de Froude.
$L_j$	Longitud del resalto.
$T$	Tiempo de mezcla.
$G$	Gradiente de velocidad.
$L_c$	Longitud de canales.
$T$	Período de retención en cada tramo.
$V$	Velocidad del fluido.
$A$	Área de los canales.
$a$	Ancho de los canales.
$B_F$	Ancho del floculador.
$N$	Número de canales.

<b>L</b>	Longitud del floculador.
<b>P<sub>m</sub></b>	Perímetro mojado de las secciones.
<b>R<sub>h</sub></b>	Radio hidráulico de canales.
<b>N</b>	Coefficiente de Manning.
<b>CS</b>	Carga superficial.
<b>A<sub>s</sub></b>	Área de sedimentación.
<b>θ</b>	Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa.
<b>S<sub>c</sub></b>	Valor crítico.
<b>l</b>	Altura del módulo de la placa.
<b>e</b>	Ancho del conducto o espaciamiento entre placas.
<b>L'</b>	Longitud de transición.
<b>Re</b>	Número de Reynolds.
<b>v</b>	Viscosidad cinemática.
<b>b<sub>s</sub></b>	Ancho del sedimentador.
<b>L<sub>s</sub></b>	Longitud del sedimentador.
<b>N</b>	Número de placas por módulo.
<b>d</b>	Separación entre placas.
<b>ep</b>	Espesor de la placa.
<b>H<sub>s</sub></b>	Altura total.
<b>T<sub>s</sub></b>	Tiempo de retención en el tanque de sedimentación.
<b>V<sub>s</sub></b>	Volumen del sedimentador.

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1- 1:</b> Principales diferencias entre aguas superficiales y aguas subterráneas.....	9
<b>Tabla 2- 1:</b> Clasificación de las aguas por su dureza.....	14
<b>Tabla 3- 1:</b> Parámetros para el agua de consumo humano.....	18
<b>Tabla 4- 1:</b> Valores máximos aceptables para el Agua Potable - OMS (1992).....	19
<b>Tabla 5- 1:</b> Características de los tanques de reservas .....	38
<b>Tabla 6- 1:</b> Nivel de complejidad del sistema.....	42
<b>Tabla 7- 1:</b> Dotación neta.....	42
<b>Tabla 8- 1:</b> Variación a la dotación neta según el clima .....	42
<b>Tabla 9- 1:</b> Pérdidas técnicas.....	43
<b>Tabla 10- 1:</b> Valores de $K_1$ .....	44
<b>Tabla 11- 1:</b> Especificaciones de los seditubos .....	57
<b>Tabla 1- 2:</b> Recolección de muestra.....	64
<b>Tabla 2- 2:</b> Equipos, Materiales y Reactivos.....	65
<b>Tabla 3- 2:</b> Métodos de análisis de aguas.....	65
<b>Tabla 4- 2:</b> Medición de caudal .....	67
<b>Tabla 5- 2:</b> STANDARD METHODS *4500 HB.....	67
<b>Tabla 6- 2:</b> STANDARD METHODS *2510.....	68
<b>Tabla 7- 2:</b> STANDARD METHODS *2130 B .....	68
<b>Tabla 8- 2:</b> MÉTODO HACH*.....	68
<b>Tabla 9- 2:</b> MÉTODO HACH *2800.....	69
<b>Tabla 10- 2:</b> STANDARD METHODS *2540.....	69
<b>Tabla 11- 2:</b> STANDARD METHODS *4500 Cl B.....	70
<b>Tabla 12- 2:</b> STANDARD METHODS *2340 B Y C.....	70
<b>Tabla 13- 2:</b> STANDARD METHODS *3500 Ca.....	71
<b>Tabla 14- 2:</b> STANDARD METHODS *2320 B .....	71
<b>Tabla 15- 2:</b> MÉTODO HACH *2800.....	72
<b>Tabla 16- 2:</b> MÉTODO HACH *2800.....	72
<b>Tabla 17- 2:</b> MÉTODO HACH *2800.....	73
<b>Tabla 18- 2:</b> MÉTODO HACH *2800.....	73
<b>Tabla 19- 2:</b> MÉTODO HACH *2800.....	74

<b>Tabla 20- 2:</b> MÉTODO HACH *2800.....	74
<b>Tabla 21- 2:</b> MÉTODO HACH *2800.....	75
<b>Tabla 22- 2:</b> MÉTODO HACH *2800 .....	75
<b>Tabla 23- 2:</b> STANDARD METHODS .....	75
<b>Tabla 24- 2:</b> Caracterización Físico-Químico del agua de la vertiente .....	76
<b>Tabla 25- 2:</b> Caracterización Físico-Químico (Semana 1).....	77
<b>Tabla 26- 2:</b> Resultados Microbiológicos (Semana 1).....	77
<b>Tabla 27- 2:</b> Caracterización Físico-Químico (Semana 2).....	78
<b>Tabla 28- 2:</b> Resultados Microbiológicos (Semana 2) .....	78
<b>Tabla 29- 2:</b> Caracterización Físico-Químico (Semana 3).....	79
<b>Tabla 30- 2:</b> Resultados Microbiológicos (Semana 3).....	79
<b>Tabla 31- 2:</b> Caracterización Físico-Químico (Semana 4).....	80
<b>Tabla 32- 2:</b> Resultados Microbiológicos (Semana 4).....	80
<b>Tabla 33- 2:</b> Caracterización Físico-Químico (Semana 5).....	81
<b>Tabla 34- 2:</b> Resultados Microbiológicos (Semana 5).....	81
<b>Tabla 35- 2:</b> Caracterización Físico-Químico del desarenador .....	82
<b>Tabla 36- 2:</b> Caracterización Microbiológica del desarenador .....	82
<b>Tabla 37- 2:</b> Promedios semanales de la caracterización Físico-Químico del agua.....	83
<b>Tabla 38- 2:</b> Promedios semanales de los resultados microbiológicos del agua de entrada y salida.....	84
<b>Tabla 39- 2:</b> Pruebas de jarras utilizando policloruro de aluminio al 25%.....	84
<b>Tabla 40- 2:</b> Prueba de jarras utilizando sulfato de aluminio al 20%.....	85
<b>Tabla 41- 2:</b> Prueba de jarras utilizando sulfato de aluminio y alcalinizante al 1%.....	85
<b>Tabla 42- 2:</b> Prueba de jarras utilizando sulfato de aluminio, alcalinizante al 1% y simulación de filtración.....	85
<b>Tabla 43- 2:</b> Caracterización del agua de entrada, de salida y después del tratamiento .....	86
<b>Tabla 1- 3:</b> Tiempo de viaje del flotador.....	88
<b>Tabla 2- 3:</b> Proyección de la población futura.....	89
<b>Tabla 3- 3:</b> Nivel de complejidad del sistema.....	89
<b>Tabla 4- 3:</b> Dotación neta.....	90
<b>Tabla 5- 3:</b> Variación a la dotación neta según el clima .....	90
<b>Tabla 6- 3:</b> Pérdidas técnicas.....	90
<b>Tabla 7- 3:</b> Valores de $K_1$ .....	92
<b>Tabla 8- 3:</b> Dosis de coagulante a añadir en cada jarra de 1 L.....	98



<b>Tabla 9- 3:</b> Dosis del alcalinizante (Cal) en cada jarra de 1 L.....	98
<b>Tabla 10- 3:</b> Promedio semanales de los parámetros físico-químicos fuera de Norma.....	113
<b>Tabla 11- 3:</b> Comparación de los resultados microbiológicos del agua entrada, salida y tratada .....	120
<b>Tabla 12- 3:</b> Proyección Futura 2035.....	123
<b>Tabla 13- 3:</b> Datos del Mezclador rápido en vertederos rectangulares.....	123
<b>Tabla 14- 3:</b> Datos del Floculador hidráulico de flujo horizontal.....	124
<b>Tabla 15- 3:</b> Datos del Sedimentador de tasa alta o alta velocidad.....	124
<b>Tabla 16- 3:</b> Dosificación de Coagulante y Alcalinizante.....	125
<b>Tabla 17- 3:</b> Dosificación del Hipoclorito de calcio.....	125
<b>Tabla 18- 3:</b> Presupuesto general.....	126
<b>Tabla 19- 3:</b> Costos de químicos al día .....	127

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1- 1:</b> Vías de transmisión y ejemplos de agentes patógenos relacionados con el agua.....	17
<b>Figura 2- 1:</b> Desarenador (Planta y corte longitudinal).....	21
<b>Figura 3- 1:</b> Condiciones de mezcla.....	24
<b>Figura 4- 1:</b> Floculadores mecánicos.....	27
<b>Figura 5- 1:</b> Floculadores hidráulicos.....	27
<b>Figura 6- 1:</b> Filtración y lavado.....	30
<b>Figura 7- 1:</b> Dirección de flujo .....	30
<b>Figura 8- 1:</b> Tipos de lecho filtrante.....	31
<b>Figura 9- 1:</b> Filtro a presión.....	31
<b>Figura 10- 1:</b> Tasa de filtración.....	32
<b>Figura 11- 1:</b> Captación del río Calmituyacu.....	35
<b>Figura 12- 1:</b> Desarenador.....	35
<b>Figura 13- 1:</b> Pre cloración.....	36
<b>Figura 14- 1:</b> Pre filtración.....	36
<b>Figura 15- 1:</b> Distribución del medio filtrante .....	37
<b>Figura 16- 1:</b> Desinfección.....	37
<b>Figura 17- 1:</b> Tanques de almacenamiento.....	38
<b>Figura 18- 1:</b> Tipos de mezcladores mecánicos .....	45
<b>Figura 19- 1:</b> Configuración del resalto en un vertedero rectangular.....	46

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1- 1:</b> Planta actual.....	34
<b>Gráfico 1- 3:</b> Resultados del promedio semanal de color.....	113
<b>Gráfico 2- 3:</b> Resultados del promedio semanal de turbiedad.....	114
<b>Gráfico 3- 3:</b> Resultados del promedio semanal de hierro.....	114
<b>Gráfico 4- 3:</b> Resultados del promedio semanal de fosfatos.....	115
<b>Gráfico 5-3:</b> Promedio semanales de los resultados microbiológicos del agua de entrada y salida.....	115
<b>Gráfico 6- 3:</b> Dosificación óptima vs Color.....	116
<b>Gráfico 7- 3:</b> Dosificación óptima vs Turbiedad.....	117
<b>Gráfico 8- 3:</b> Dosificación óptima vs Hierro.....	117
<b>Gráfico 9- 3:</b> Dosificación óptima vs Fosfatos.....	118
<b>Gráfico 10- 3:</b> Dosificación óptima vs pH.....	118
<b>Gráfico 11- 3:</b> Caracterización del agua de entrada, de salida y tratada (Prueba de jarras).....	119
<b>Gráfico 12-3:</b> Comparación de los resultados microbiológicos del agua de entrada, salida y tratada.....	120
<b>Gráfico 13- 3:</b> Eficiencia del tratamiento propuesto.....	121
<b>Gráfico 14- 3:</b> Propuesta.....	122

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1</b> Medición de caudal .....	39
<b>Ecuación 2</b> Determinación de área.....	39
<b>Ecuación 3</b> Determinación de la velocidad .....	40
<b>Ecuación 4</b> Población futura .....	41
<b>Ecuación 5</b> Dotación bruta .....	43
<b>Ecuación 6</b> Caudal medio diario .....	43
<b>Ecuación 7</b> Caudal máximo diario .....	44
<b>Ecuación 8</b> Caudal de captación.....	44
<b>Ecuación 9</b> Distancia $L_m$ .....	47
<b>Ecuación 10</b> Distancia $L_m$ para vertederos de pared gruesa.....	47
<b>Ecuación 11</b> Profundidad crítica de flujo .....	47
<b>Ecuación 12</b> Caudal por unidad del vertedero .....	47
<b>Ecuación 13</b> Profundidad del agua en la sección 1 .....	48
<b>Ecuación 14</b> Profundidad del agua en la sección 2 .....	48
<b>Ecuación 15</b> Número de Froude.....	48
<b>Ecuación 16</b> Velocidad en la sección 1 .....	48
<b>Ecuación 17</b> Velocidad en la sección 2.....	49
<b>Ecuación 18</b> Pérdida de energía en el resalto .....	49
<b>Ecuación 19</b> Longitud del resalto $L_j$ .....	49
<b>Ecuación 20</b> Tiempo de mezcla .....	49
<b>Ecuación 21</b> Velocidad media en el resalto .....	49
<b>Ecuación 22</b> Gradiente de velocidad.....	49
<b>Ecuación 23</b> Distancia total recorrida del agua .....	52
<b>Ecuación 24</b> Área de los canales .....	52
<b>Ecuación 25</b> Ancho de los canales de floculación .....	53
<b>Ecuación 26</b> Distancia entre borde del floculador y el tabique .....	53
<b>Ecuación 27</b> Ancho del floculador .....	53
<b>Ecuación 28</b> Número de tabiques.....	53
<b>Ecuación 29</b> Longitud del floculador .....	54
<b>Ecuación 30</b> Pérdida de carga en las vueltas .....	54
<b>Ecuación 31</b> Perímetro de las secciones.....	54

<b>Ecuación 32</b> Radio hidráulico en los canales .....	54
<b>Ecuación 33</b> Pérdida de carga en los canales .....	55
<b>Ecuación 34</b> Pérdida de carga total .....	55
<b>Ecuación 35</b> Gradiente de velocidad .....	55
<b>Ecuación 36</b> Área de sedimentación .....	57
<b>Ecuación 37</b> Velocidad promedio de flujo entre placas .....	57
<b>Ecuación 38</b> Velocidad de sedimentación crítica.....	57
<b>Ecuación 39</b> Longitud relativa del sedimentador de alta tasa corregida en la longitud de transición. .....	58
<b>Ecuación 40</b> Longitud relativa del sedimentador de tasa alta .....	58
<b>Ecuación 41</b> Longitud de transición.....	58
<b>Ecuación 42</b> Número de Reynolds .....	58
<b>Ecuación 43</b> Tiempo de retención entre placas .....	59
<b>Ecuación 44</b> Ancho del sedimentador.....	59
<b>Ecuación 45</b> Longitud del sedimentador.....	59
<b>Ecuación 46</b> Número de placas por módulo.....	59
<b>Ecuación 47</b> Tiempo de retención en el tanque de sedimentación.....	60
<b>Ecuación 48</b> Volumen del sedimentador.....	60
<b>Ecuación 49</b> Cantidad de lodos producidos .....	60

## ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A** Parámetros para el diseño
- Anexo B** Número de rugosidad de Manning para diferentes materiales
- Anexo C** Norma NTE INEN 1108:2014
- Anexo D** Especificación técnica del sulfato de aluminio
- Anexo E** Especificación técnica del alcalinizante (Cal)
- Anexo F** Especificación técnica del hipoclorito de calcio (HTH)
- Anexo G** Resultados de la caracterización del agua
- Anexo H** Resultados de la caracterización del agua
- Anexo I** Resultados microbiológicos
- Anexo J** Resultados microbiológicos
- Anexo K** Planta actual
- Anexo L** Planos de tanques de almacenamiento
- Anexo M** Mezclador- vertedero rectangular
- Anexo N** Floculador hidráulico de flujo horizontal
- Anexo O** Sedimentador de tasa alta
- Anexo P** Vista frontal del sedimentador
- Anexo Q** Lecho de secado
- Anexo R** Plano de la propuesta
- Anexo S** Preparación del sulfato de aluminio y cal

## RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo el rediseño de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Sector Yawari del Cantón Archidona de la Provincia de Napo. Se procedió a realizar la caracterización físico-químicos y microbiológicos del agua de entrada y salida de la planta de tratamiento en diferentes condiciones climáticas, en el laboratorio de Análisis Técnico de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, posteriormente a la caracterización se determinaron los parámetros fuera de los límites permisibles de acuerdo a la Norma INEN 1108:2014 Agua Potable. Requisitos, siendo color, turbiedad, hierro y fosfatos específicamente en épocas de lluvia y los coliformes totales y fecales presentes todo el tiempo y para su remoción se procedió a realizar pruebas de jarras utilizando el químico que mejor actúe (policloruro de aluminio o sulfato de aluminio), llegando a encontrar la dosificación adecuada con el sulfato de aluminio al 1% y alcalinizante (cal) al 1% a fin de estabilizar el pH del agua, de igual manera se realizó la desinfección al agua tratada a fin de eliminar la presencia de coliformes. El rediseño de la planta se dimensionó mediante cálculos de ingeniería siendo; un mezclador de vertedero rectangular con un ancho de 0,50 m, una altura de 1,20 m, un largo de 2,808 m, dos floculadores hidráulicos de flujo horizontal los mismos que serán de 15,40 m de largo y 3,25 m de ancho y un sedimentador de tasa alta que tendrá 16,5 m de largo y 3,3 m de ancho con un tiempo de retención de 32 min. Los porcentajes de eficiencia de remoción de los parámetros fuera de norma al realizar las pruebas de jarras y la respectiva desinfección al agua tratada son: color= 99,01%, turbiedad= 97,74%, hierro= 92,95%, fosfatos= 67,21%, y microbiológicos = 100%. Concluyendo que la implementación de los nuevos procesos mejorará la calidad del agua, por lo que se recomienda al GAD Municipal de Archidona la aplicación del estudio realizado a fin de brindar agua potable apta para el consumo de los habitantes.

**Palabras clave:** <REDISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO> <YAWARI [Comunidad]> <ARCHIDONA [Cantón]> <NAPO [Provincia]> <AGUA POTABLE> <NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 1108:2014> <PARÁMETROS DE CALIDAD> <DOSIFICACIÓN> <INGENIERIA QUIMICA>

## ABSTRACT

The research aimed to redesign the Potable Water Treatment Plant in Yawari area, Archidona-Napo. Proceeding with the physical-chemical and microbiological representation of the water inlet and outlet of the treatment in different weather conditions, in the laboratory of technical analysis in the Science Faculty of the Polytechnic University of Chimborazo. Subsequently, the parameters were determined outside the permissible limits according to the INEN technical standards 1108:2014 for safe drinking water, which have different kind of requirements such as, color, turbidity, iron and phosphates, specifically during the rainy season and the total coliforms and fecal coliforms present all the time. For their removal some testing chemical jar were performed, using the best chemical for the reaction (Aluminium Polychloride, aluminium sulphate), finding the proper dosing with aluminium sulfate of 1% and alkalizing (lime) of 1% in order to stabilize the pH of the water. Similarly, the disinfection process was carried out to the treated water to eliminate the presence of coliform. The redesign of the plant was sized by engineering calculations, being; a rectangular overflow with width of 0,50 m a height of 1,20 m, a length of 2,808 m, two hydraulic flocculators with horizontal flow of 15,40 m long and 3,25 m wide, and a sedimentary of high rate that will have 16,5 m long and 3,3 m wide with a retention time of 32 min. The percentages of removal efficiency about the parameters outside of the standard after developing the respective testing of jars disinfection to the treated water which are; color= 99,01%, turbidity= 97,74%, iron= 92,95%, phosphates= 67,21% and microbiological= 100%. Concluding that the implementation of the new processes will improve the water quality, so it is recommended the application of the study in the Municipal GAD of Archidona in order to provide drinking suitable water for consumption by residents.

Key word: <REDESING THE POTABLE WATER TREATMENT PLANT> <YAWARI [Community]> <ARCHIDONA [Canton]> <NAPO [Province]> <SAFE DRINKING WATER> <ECUATODORIAN INEN TECHNICAL STANDARDS 1108:2014> <QUALITY STANDARDS> <DOSIFICATION> <CHEMICAL ENGINEERING>.



## **INTRODUCCIÓN**

El agua es esencial para la vida por ende todas las personas deben disponer de un suministro satisfactorio, es decir, suficiente, inocuo y accesible. El acceso al agua potable puede aportar beneficios para la salud, por lo que se deben tomar medidas correctivas para disminuir la concentración de elementos contaminantes presentes en el agua de uso cotidiano y así mejorar la calidad de vida de la población que se abastece de este líquido vital.

En algunos países, el agua potable es altamente subsidiada para aquellos conectados al sistema, generalmente personas en una mejor situación económica, mientras que la gente pobre que no está conectada al sistema depende de fuentes inseguras o sistemas con tratamientos ineficientes. El suministro de agua potable es cada vez más limitado para las diversas comunidades del mundo, en millones de ellas nunca llegará la red de agua potable, la insuficiencia de este recurso natural afecta su desarrollo económico.

Es así que en el Sector Yawari del Cantón Archidona se encuentra la planta de tratamiento de agua potable, su fuente de abastecimiento es el río Calmituyacu uno de los afluentes del río Misahuallí, en esta planta se pudo determinar la falta de operaciones o procesos para potabilización del agua, ya que no son suficientes las operaciones que actualmente presenta la planta de tratamiento para la remoción de contaminantes existentes, que exige la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2014 y los requerimientos de la OMS.

Este sistema de potabilización está conformado por captación, desarenador, pre cloración, tanques de pre filtración, tanques de filtración, post cloración y tanques de almacenamiento, etapas que brindan un tratamiento insatisfecho, en especial en épocas de lluvia ciertos parámetros del agua se ven alterados incumpliendo los límites permisibles establecidos por la norma.

En consideración a estos aspectos, surge la necesidad presentar el proyecto de rediseño de la planta de tratamiento de agua potable de este sector, con la finalidad de garantizar agua de calidad, que sea apta para su consumo.

El presente proyecto especifica el estado actual de la planta, los resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos del agua captada y del agua tratada, llegando a proponer un rediseño de

dicha planta, en el cual se implementará nuevas estructuras como; un mezclador rápido, dos floculadores de flujo horizontal y un sedimentador de tasa alta, suficientes para solucionar las deficiencias de este servicio.

## **ANTECEDENTES**

Desde hace tiempos atrás, se han venido desarrollando proyectos relacionados al sistema de agua potable, los mismos que han sido ejecutados por el Ex - IEOS, Municipio de Archidona; Consejo Provincial de Napo, y Organismos no Gubernamentales. Es así que a continuación se presenta una breve reseña histórica.

En el año 1932, la Misión Josefina construyó el primer sistema de agua potable considerando la captación de las aguas del río Misahuallí y conducción en canal abierto de 2140 m.

En el año 1964, Sistema Cooperativo Interamericano de Salud Pública SCISP diseñó, un sistema de Agua Potable para Archidona, que captaba las aguas de las cavernas de Latas, sirviendo originalmente a Archidona con una pequeña red de distribución.

En el año 1977, el IEOS diseñó un sistema de Agua Potable para las ciudades del Tena y Archidona, captando las aguas de las cavernas de Jumandy, sirviendo originalmente a Archidona y El Tena.

En el año 1978, el IEOS realizó la construcción del sistema de agua potable para las ciudades del Tena y Archidona, por ser una conducción muy extensa hasta la ciudad del Tena, se buscó nuevas fuentes de abastecimiento para esta ciudad (Tena), dejando el sistema original para la atención exclusiva de la ciudad de Archidona.

En el año de 1983, el IEOS realizó un estudio para la ampliación del sistema de agua potable de Archidona, el mismo que considera la ampliación de redes de distribución, realizándose la construcción en el mismo año de 1993.

Debido al incremento y el cambio de vida de los pobladores, en el año 1998 la Municipalidad de Archidona, realizó los trabajos de construcción de una nueva captación ubicada en el río

Calmituyacu, antes de la confluencia con el río Misahuallí y la ampliación de la planta de potabilización.

En el año 2002 la Municipalidad de Archidona realiza un estudio de carácter emergente para el sistema de agua potable de Archidona, el mismo que considera el reemplazo total de las redes existentes, pero de dicho estudio la Municipalidad no ha podido construir por falta de recursos.

El año 2005, la Municipalidad de Archidona con fondos de la OIM construye una nueva captación ubicada en el Río Calmituyacu, en la cota 696.170 m.s.n.m. (Sector Batán Cocha), captación que actualmente sirve para el abastecimiento de agua potable para la ciudad de Archidona.

“Desde el punto de vista bioclimático” (Cañadas. L, El Mapa Bioclimático y Ecológico del Ecuador, 1983, p.10) aguas arriba de la zona en donde esta ubicada la captación (Río Calmituyacu), es considerado como zona de transición entre el Bosque Tropical de Lluvia y el Bosque Tropical Húmedo, sitio que por su inaccesibilidad, todavía existe mucho bosque primario.

Según información facilitada por el GADMA, en el año 2008 se realiza la contratación de una consultoría para mejorar el servicio de agua potable en Archidona cuyo objetivo fundamental del estudio, consistió en desarrollar la evaluación del sistema que en ese entonces dotaba el servicio de agua potable a la población de Archidona, se realizaron los diseños de las adecuaciones y/o ampliaciones necesarias para mejorar el servicio y definir las medidas necesarias para lograr la sostenibilidad técnica y financiera del sistema de agua potable.

Los habitantes de Archidona y sus comunidades, reciben un servicio de agua potable la misma que ha sido mejorada el sistema que abastece del líquido vital a la población. Las obras realizadas en este sistema son: mejoramiento de la captación en el río Calmituyacu, construcción de filtros y adecentamiento de la planta de tratamiento de Yawari, construcción de tanques de reserva, mejoramiento de la red de conducción y ampliación de la red de distribución, cuyo proyecto fue financiado por el MIDUVI y terminado en abril del 2012 de ahí en adelante, será el Gobierno Autónomo Descentralizado de Archidona, la entidad que se encargue de buscar el financiamiento para la ejecución de esta obra vital para mejorar la calidad de vida de los habitantes.

Pero en la actualidad presenta diversos problemas en el tratamiento del agua cruda reduciendo la calidad del agua potable para su consumo, siendo tales problemas como el color, turbiedad, hierro y

fosfatos, especialmente en épocas de lluvia los cuales sobrepasa el límite permisible por la norma INEN 1108:2014, dándole una cualidad o un aspecto indeseable para su consumo.

## **JUSTIFICACIÓN**

Actualmente los gobiernos autónomos descentralizados municipales buscan brindar a la ciudadanía una mejor calidad de vida necesaria para alcanzar el buen vivir, es por eso que ahora los municipios y las distintas entidades se encargan de ofrecer los servicios básicos como son: energía eléctrica, servicio telefónico, alcantarillado y agua potable de calidad. Los actuales sistemas de dotación de agua se las realiza en tomas superficiales de los ríos o esteros y que en algunas de estas fuentes, hasta descargan las aguas servidas de las poblaciones, lo que hace que el agua sea entubada, de color turbia y de mal olor, no apta para el consumo humano.

Es necesario mencionar que actualmente la planta de tratamiento de agua potable del Sector Yawari del Cantón Archidona, no cuenta con las operaciones o procesos de tratamientos necesarios para asegurar su potabilización, lo cual implica un problema sobre la salud de la población. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que el 80% de todas las enfermedades en el mundo, se debe por la falta de agua limpia y saneamiento adecuado, siendo la causa principal de enfermedades y muertes sobre todo en los niños.

La presente investigación busca estudiar, analizar y proponer una alternativa para mejorar el estado actual de la planta de tratamiento de agua potable del Sector Yawari del Cantón Archidona, por lo que es indispensable un rediseño de la planta de tratamiento de agua potable, que cuente con todas las etapas, dentro de las cuales tenemos los puntos de recolección, tratamiento, análisis y distribución correctamente establecidos, de tal manera que el agua captada reciba un tratamiento adecuado previa a su distribución del líquido vital a la población de la parte urbana y las comunidades Santa María, Santa Elena, Lushian, San Rafael, Sábata y San Diego que aproximadamente cuenta con 9 450 habitantes.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVOS GENERALES**

- ❖ Realizar el rediseño la planta de tratamiento de agua potable del Sector Yawari del Cantón Archidona

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- ❖ Diagnosticar el estado actual de la planta de tratamiento de agua potable del Sector Yawari del Cantón Archidona.
- ❖ Efectuar la caracterización físico-química y microbiológica del agua captada y del agua que se consume actualmente.
- ❖ Identificar las variables del proceso que se requieren para el rediseño de la planta de tratamiento.
- ❖ Realizar los respectivos cálculos de ingeniería para el rediseño de la planta de tratamiento de agua potable del Sector Yawari del Cantón Archidona.
- ❖ Caracterizar el agua después del tratamiento propuesto a través del análisis físico-químico y microbiológico y comprobar su calidad de acuerdo a la norma INEN 1108:2014.

## **CAPITULO I**

### **1. MARCO TÉORICO**

#### **1.1. Agua potable**

Es el agua cuyas características físicas, químicas, microbiológicas han sido tratadas a fin de garantizar su aptitud para el consumo humano. (NORMA INEN 1108:2014, p.1).

Para que sea agua potable no siempre el agua debe ser tratada, también puede ser el agua no tratada pero sin previa contaminación procedentes de manantiales naturales, pozos y otras fuentes. Sin agua potable, el ser humano no puede llevar una vida sana y productiva.

Por lo tanto el significado de agua potable es que debe de estar libre de microorganismos patógenos, minerales y de sustancias orgánicas que puedan producir efectos fisiológicos contraproducentes, además debe de ser estéticamente aceptable y exenta de turbidez, color, olor y sabor desagradable.

Al proceso de modificación de agua cruda en agua potable se le denomina potabilización.

##### ***1.1.1. Calidad del agua***

El estudio de calidad del agua se basa en la investigación de las características físico-químicas de las fuentes ya sea subterránea, superficial o de precipitación pluvial.

Para determinar si el agua es o no apta para su consumo, debe de regirse a determinados requisitos de potabilidad denominadas normas de calidad del agua, debido a que en la actualidad ya no es tan factible disponer de una fuente de aprovechamiento de agua apropiada, para dotar a una población de dicho líquido, ya que en los últimos años en vista al crecimiento de las ciudades, industrias, etc., descargan sus agua residuales sin previo tratamiento a las corrientes naturales, tales como ríos, lagos y lagunas que han llevado a contaminar en gran medida de estas fuentes para su aprovechamiento.

Se estima que la contaminación es una bomba de “tiempo retardado”, pues el hombre se preocupa solo por la cantidad del agua, y no por su calidad, pero con el pasar de los años cuando se presente el problema de la contaminación, el hombre se verá obligado a preocuparse también por la calidad y ahí es cuando tomara conciencia de una atención urgente para evitar la crisis del agua.

Desde hace mucho tiempo al agua se consideró abundante y de bajo costo. Hoy en día es evidente que es un recurso finito, escaso en muchas zonas del país y que su contaminación limita aun más su uso.

## **1.2. Fuentes de abastecimiento de agua**

Para un eficaz abastecimiento de agua potable debemos disponer con las fuentes correspondientes, de las que se deben considerar dos aspectos importantes a tener en cuenta:

- Capacidad de suministro.
- Condiciones de sanidad o calidad del agua.

La capacidad de suministro debe ser lo suficiente para proveer la cantidad deseable en volumen de acuerdo a los requerimientos de la población y tiempo que requiere el proyecto de abastecimiento. En cuanto a las condiciones de sanidad o calidad del agua son claves para definir los procesos necesarios de potabilización, así como también se debe considerar los costos involucrados en el sistema, tanto de inversión como de operación y mantenimiento.

En la mayoría de los casos, se utilizan las aguas superficiales y las aguas subterráneas; sin embargo, en la ausencia de estas fuentes puede recurrirse a la explotación del agua de lluvia o al agua de mar.

### **1.2.1. Aguas superficiales**

En los países ricos en ríos y lagos, la mayoría de las municipalidades aprovechan las aguas superficiales como fuente de abastecimiento de agua.

- ❖ **Aguas fluviales.** En las cabeceras de los ríos la población es menos densa y el bosque y las tierras de cultivo cubren una buena parte de la región. Las aguas cuyo régimen de flujo es turbulento son, en la mayoría de casos, turbias debido a que transportan material en suspensión

que tiene origen en el bosque y en las tierras agrícolas. Frecuentemente son aguas frías porque provienen de manantiales, de la fundición de la nieve o del deshielo. Finalmente, debido a la ausencia de materia orgánica en suspensión el índice de color es bajo.

❖ **Aguas de lagos.** Los lagos constituyen almacenamientos naturales de agua, lo que trae consigo:

- ✓ Una disminución de la turbiedad de las aguas, debido a la baja turbulencia que favorece la deposición de las partículas en suspensión en el fondo del lago;
- ✓ Una reducción en la concentración de bacterias y virus patógenos, debido al efecto combinado de la sedimentación y al mayor tiempo que el agua permanece en el lago, ahí donde las condiciones son poco favorables para el desarrollo de estos microorganismos;
- ✓ Un aumento de la concentración de nutrientes minerales como el fósforo y el nitrógeno que producen la eutrofización, es decir, la proliferación de algas y de plantas acuáticas.

### ***1.2.2. Aguas subterráneas***

Las aguas subterráneas se obtienen de los manantiales y de los pozos. En general, el agua subterránea presenta las siguientes características:

- ✓ La temperatura es constante en todas las estaciones porque el terreno actúa como un tampón;
- ✓ baja coloración porque contienen poca materia orgánica y poca materia coloidal en solución;
- ✓ baja turbiedad porque el agua se filtra al atravesar el suelo;
- ✓ baja contaminación bacterial y viral debido a que el agua ha sido filtrada o ha permanecido mucho tiempo en el suelo;
- ✓ presencia de hierro y manganeso;
- ✓ presencia de calcio y de magnesio;
- ✓ presencia de ácido sulfhídrico  $H_2S$ , un gas nauseabundo que puede ser desagradable.



**Tabla 1- 1:** Principales diferencias entre aguas superficiales y aguas subterráneas

CARACTERÍSTICAS	AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS SUBTERRÁNEAS
Temperatura	Variable según las estaciones	Relativamente constante
Turbiedad, material en suspensión	Variables a veces elevadas	Bajas o nulas
Mineralización	Variable en función de los terrenos, precipitaciones, vertido, etc.	Sensiblemente constante, mayor que en las aguas superficiales
Hierro y manganeso (en estado disuelto)	Generalmente ausente, salvo en el fondo de cauces de agua en estado de eutrofización	Generalmente presentes
Gas carbónico agresivo	Generalmente ausente	Normalmente presente en gran cantidad
Amoníaco	Presente solo en aguas contaminadas	Presente frecuentemente sin ser índice de contaminación
Sulfuro de hidrógeno	Ausente	Normalmente presente
Sílice	Contenido moderado	Contenido normalmente elevado
Nitratos	Muy bajo por lo general	Contenido a veces elevado, riesgo de metemoglobinemia
Elementos vivos	Bacterias, virus, plancton	Frecuentes ferrobacterias
Oxígeno disuelto	Normalmente próximo a la saturación	Normalmente ausente o muy bajo

Fuente: <http://cida.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/consumo.pdf>

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

### 1.2.3. Aguas de lluvia

Las aguas de lluvia, en general, son de buena calidad para el consumo humano y para otros usos domésticos. Las aguas de lluvia por lo general no presentan alteración apreciable a través de su paso por la atmósfera, recogiendo cantidades ínfimas de anhídrido carbónico, oxígeno, nitrógeno y polvo en suspensión coloidal, con su posible contenido bacteriano.

#### **1.2.4. Aguas del mar y las aguas salobres**

Cuando no existe agua superficial, subterránea, o agua de lluvia, puede utilizarse y sea el agua salobre (cuya concentración de sales disueltas puede llegar hasta 15.000 mg/l) o el agua de mar (la concentración de sales disueltas es superior a 25.000 mg/l), como fuente de agua potable. Hay dos técnicas que emplean membranas para desalinizar el agua de mar: la electrodiálisis y la ósmosis inversa. (BRIÉRE, F, Distribución de agua potable y colecta de desagües y de agua de lluvia, pp. 4-6).

### **1.3. Características del agua**

El agua es una sustancia incolora, inodora e insípida. Sin duda no siempre se presenta precisamente así: ya que sus propiedades pueden ser alteradas, por lo que no sería apta para su consumo. El agua se considera potable siempre y cuando cumpla con los requisitos y normas INEN 1108:2014 permisibles, relativas a las características físicas, químicas y bacteriológicas.

#### **1.3.1. Características físicas del agua**

El aspecto físico del agua se manifiesta por su aspecto, la cual puede ser percibida por los sentidos. Las características físicas del agua son:

##### **1.3.1.1. Turbidez**

La turbidez o turbiedad es el efecto óptico originado por la dispersión y absorción de los rayos luminosos que pasan a través del agua que contiene pequeñas partículas en suspensión. Puede ser causada por el cieno o fango extraído del suelo, por escurrimientos superficiales que contienen materia suspendida orgánica y mineral.

La turbiedad también puede manifestarse por:

- Arcilla, sílice, azufre.
- Por carbonato de calcio precipitado en las aguas duras.
- Por el hidróxido de aluminio en las aguas tratadas.
- Por el hidróxido férrico.

- Por organismos microscópicos.

En la actualidad el método más utilizado para determinar la turbidez es el método Nefelométrico, expresándose los resultados en NTU (Unidades de Turbidez Nefelométricas). Cuanto mayor sea la intensidad de la luz dispersada, mayor será la turbidez.

La legislación vigente establece los siguientes valores de la turbidez para el agua potable:

- ✓ Valor deseable: menor o igual a 1 UTN
- ✓ Valor admisible: menor o igual a 5 UTN

#### *1.3.1.2. Color*

El color es ocasionado generalmente por presencia de materia orgánica proveniente de vegetales muertos, así como también por sustancias inorgánicas, desechos industriales, hierro y manganeso en estado natural, y por productos de la corrosión, además en ocasiones un exceso de algas puede provocar color al agua.

Existen dos tipos de colores en el agua:

- ✓ **Color verdadero**, es el que está presente en el agua después de remover la materia suspendida.
- ✓ **Color aparente**, es el color verdadero más cualquier otro color que produzca las sustancias en suspensión.

El color se determina por la comparación de la muestra con patrones previamente valorados. Se expresa en Unidades de Color ó Unidades Pt-Co.

La legislación vigente establece los siguientes valores para el color del agua potable:

- ✓ Valor deseable: 5 UPC
- ✓ Valor admisible: menor o igual a 15 UPC

#### *1.3.1.3. Olor y Sabor*

Las impurezas orgánicas disueltas producen olores y sabores indeseables, que son difíciles de evaluar por su naturaleza sugestiva.

Los olores en el agua se deben a pequeñísimas concentraciones de compuestos volátiles. Su intensidad y lo ofensivo de los olores varía con el tipo; algunos son de tierra y moho, mientras que otros son putrefactos, ocasionados por la polución de los desechos industriales como el fenol y los derivados del petróleo.

En aguas superficiales el olor causado por el plancton; ya que éstos organismos desprenden pequeños vestigios de aceites esenciales volátiles.

El sabor de las aguas se debe a la presencia de sales metálicas como: cobre, zinc o hierro produciendo sabores metálicos. La materia mineral disuelta causa sabor en el agua. Los cloruros y sulfatos mayores a 250 mg/l hacen que el agua tenga un sabor salado y amargo.

#### *1.3.1.4. Temperatura*

La temperatura más deseable del agua de consumo es aquella que se considera fresca; ya que el agua tibia o muy caliente es desagradable para su consumo. Por tanto a mayor temperatura, mayor actividad de los microorganismos aeróbicos con la consiguiente disminución de la cantidad de oxígeno disuelto en el agua. (Pérez. J, Tratamiento de aguas, p.9).

#### *1.3.1.5. Conductividad*

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad de un líquido de conducir la electricidad, el cual depende de la concentración de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la que es medido. En aguas subterráneas dulces la conductividad oscila entre 100 y 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , el agua de mar tiene aproximadamente 45000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 18° C.

### ***1.3.2. Características químicas del agua***

Se relaciona con los compuestos químicos disueltos en el agua y que puede modificar sus propiedades. Las características químicas más comunes que se determinan en el laboratorio para el control de la calidad del agua son:

#### ***1.3.2.1. Alcalinidad***

La alcalinidad es una medida de la capacidad para neutralizar ácidos. Contribuyen a la alcalinidad principalmente los iones bicarbonatos  $[\text{CO}_3\text{H}^-]$ , carbonato  $[\text{CO}_3^{=}]$  y oxhidrilo  $[\text{OH}^-]$ , pero también los fosfatos y ácido silícico u otros ácidos de carácter débil.

La alcalinidad se corrige por descarbonatación con cal, tratamiento con ácido, o desmineralización por intercambio iónico (RIGOLA, M, Tratamiento de aguas industriales: Aguas de proceso y residuales, 1989, p. 31).

La concentración de alcalinidad se expresa en mg/l como  $\text{CaCO}_3$  (carbonato de calcio o caliza).

#### ***1.3.2.2. Acidez***

Es la capacidad para neutralizar bases. Habitualmente las aguas naturales están acidificadas debido a la presencia de  $\text{CO}_2$ , no obstante no se descarta a las aguas superficiales las cuales frecuentemente están contaminadas por ácidos de drenajes mineros o industriales.

La acidez aporta al agua un alto poder corrosivo llegando a destruir equipos de la planta, tuberías, aparatos sanitarios, griferías, etc.

#### ***1.3.2.3. Dureza***

La dureza del agua se debe principalmente a la presencia de calcio y magnesio, y se evidencia en el agua porque reacciona con el jabón sin disolverlo ni producir espuma.

El agua con una dureza mayor a 200 mg/l, en función de otros factores, como el pH y la alcalinidad, puede provocar la formación de incrustaciones en las instalaciones de tratamiento, el sistema de

distribución, las tuberías y depósitos de los edificios. Las aguas duras, al calentarlas forman precipitados de carbonato cálcico. Por otra parte, las aguas blandas, con una dureza menor a 100 mg/l, pueden tener una capacidad de amortiguación del pH baja y ser, por tanto, más corrosivas para las tuberías. (OMS, Guías para la calidad del agua potable, 2000, p.186).

La dureza conformada por bicarbonatos de calcio y magnesio, se llaman *dureza temporal* y las contenidas por sulfatos, cloruros y nitratos como *dureza permanente*. La suma de las dos constituye la *dureza total*.

La dureza permanente está relacionada con los denominados incrustantes. La dureza temporal se puede remover fácilmente con un simple proceso de ebullición, mientras que la dureza permanente solo se podrá remover con un tratamiento específico. (BVSDE, tratamiento de agua, pp. 506-507).

**Tabla 2- 1:** Clasificación de las aguas por su dureza

TIPO DE AGUA	ppm de $\text{CaCO}_3$
Aguas blandas	0 – 75
Moderadamente duras	75 - 150
Duras	150 – 300
Muy duras	> 300

Fuente: Tratamiento de aguas

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

#### 1.3.2.4. Hierro

La presencia de hierro en el agua es objetable no desde el punto de vista fisiológico sino, en términos generales, desde el punto de vista estético, de sabor y aún de olor.

En las aguas subterráneas anaerobias pueden existir concentraciones de hierro ferroso sin que se manifieste, sin embargo, al ponerse en contacto con la atmósfera, el hierro ferroso se oxida a férrico, tiñendo el agua un color marrón rojizo no deseable. (OMS, Guías para la calidad del agua potable, 2000, p.187).

Valor admisible: máximo hasta 0,3 mg/l como Fe.

#### *1.3.2.5. Manganese*

De forma similar al hierro, la presencia de manganeso en el agua de consumo puede dar lugar a la acumulación de depósitos en el sistema de distribución. La presencia de manganeso a concentraciones mayores que 0,1 mg/l en sistemas de abastecimiento de agua produce un sabor no deseable en bebidas y mancha la ropa lavada y los aparatos sanitarios. (OMS, Guías para la calidad del agua potable, 2000, p.187).

Valor admisible: máximo hasta 0,05 mg/l.

#### *1.3.2.6. Sulfatos*

Generalmente todas las aguas naturales contienen sulfatos, procedentes de los suelos que contienen cantidades apreciables de yeso y minerales similares. Los sulfatos en fuentes superficiales pueden provenir de contaminaciones por residuos industriales como las curtiembres, plantas electrolíticas, industrias textiles o de industrias que usen sulfatos, ácido sulfúrico o sus derivados.

La presencia de sulfatos en el agua puede generar un sabor apreciable, aunque algunas comunidades usan aguas con índices de sulfatos por encima, sin que se presenten efectos adversos notorios.

El límite máximo permisible es de 250 mg/l.

#### *1.3.2.7. Cloruros*

No hay que confundir el cloro con los cloruros. A concentraciones sobre los 250 mg/l es probable que los consumidores detecten un sabor salado del agua, sin embargo los consumidores pueden acostumbrarse al sabor que produce en concentraciones bajas.

El límite máximo permisible es de 250 mg/l.

#### *1.3.2.8. Nitratos*

El nitrato es el contaminante más frecuente de aguas subterráneas en áreas rurales, se debe principalmente a fertilizantes, sistemas sépticos y almacenamiento de estiércol u operaciones de

extensión. Los fertilizantes nitrogenados no absorbidos por las plantas, volatilizados, o arrastrados por la escorrentía superficial acaban en las aguas subterráneas en forma de nitratos.

Deben ser controlados en el agua potable debido a que niveles excesivos pueden provocar metahemoglobinemia, o la enfermedad de los bebés azules.

El límite máximo permisible es de 50 mg/l.

#### *1.3.2.9. Aluminio*

Las fuentes más comunes de aluminio en el agua de consumo son el aluminio de origen natural y las sales de aluminio utilizadas como coagulantes en el tratamiento del agua. La presencia de aluminio en concentraciones mayores que 0,2 mg/l, ocasiona precipitación del flóculo de hidróxido de aluminio en los sistemas de distribución y el aumento de la coloración del agua por el hierro. Por lo tanto, es importante optimizar los procesos de tratamiento con el fin de reducir al mínimo la presencia de residuos de aluminio en el sistema de abastecimiento. (OMS, Guías para la calidad del agua potable, 2000, p.185).

El límite máximo permisible es de 0,2 mg/l de aluminio.

#### *1.3.3. Características bacteriológicas*

Existe una gran variedad de bacterias que habitan en la naturaleza y las que están presentes en el agua tienen fundamental importancia, ya que pueden contener parásitos, bacterias, virus y protozoos, procedentes de los desperdicios del tipo animal y humano, debido a la costumbre de arrojar sus residuos a la corriente de agua más cercana. Por lo tanto si no se garantiza la seguridad del agua, los consumidores quedan expuestos al riesgo de brotes de enfermedades intestinales y otras enfermedades infecciosas.

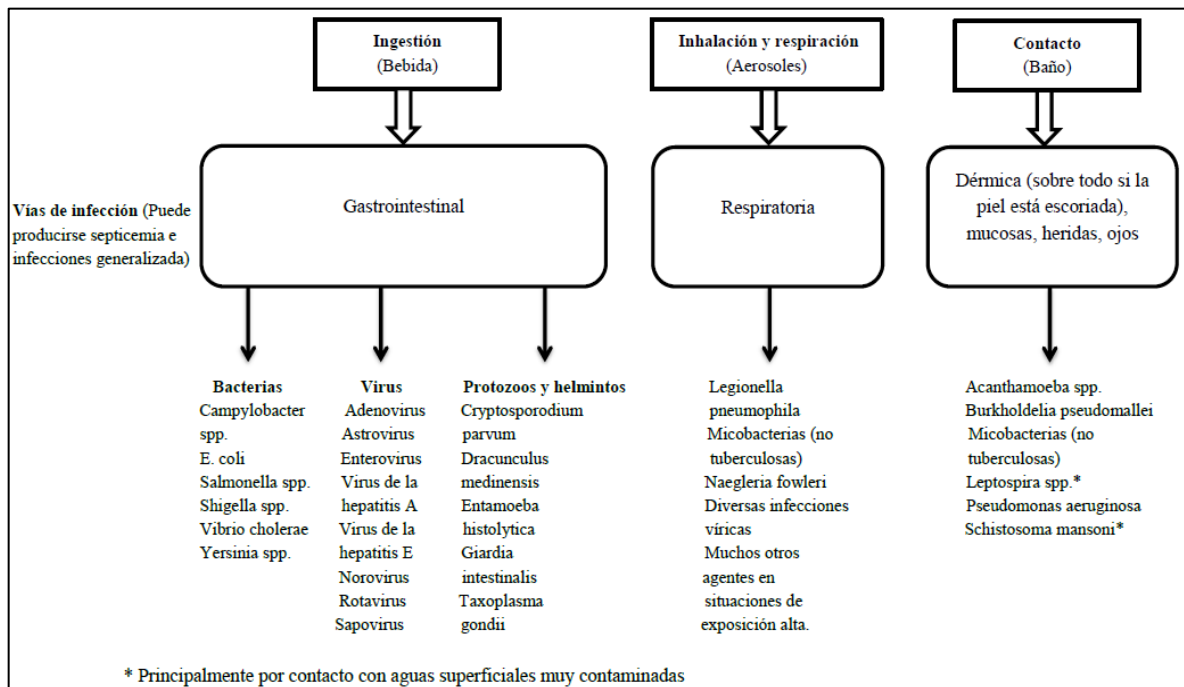
##### *1.3.3.1. Coliformes totales*

La presencia de coliformes totales indica que el cuerpo de agua ha sido o está contaminado con materia orgánica de origen fecal, ya sea por humano o animales.



### 1.3.3.2. Coliformes fecales

Es un indicador indirecto del riesgo potencial de contaminación con bacterias o virus de carácter patógeno, ya que las coliformes fecales siempre están presentes en las heces humanas y de los animales. (SIERRA, Carlos, Calidad del agua. Evaluación y diagnóstico, 2011, p. 82)



**Figura 1- 1:** Vías de transmisión y ejemplos de agentes patógenos relacionados con el agua

**Fuente:** Guías para la calidad del agua potable.

En la tabla 1-3 se expone los límites permisibles establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2014. Quinta Revisión. Agua Potable. Requisitos, de los parámetros físico-químicos y microbiológicos empleados para determinar la calidad del agua para consumo humano. Mientras que la tabla 1-4 se muestran los valores máximos aceptable para el agua potable – OMS (1992).

**Tabla 3- 1:** Parámetros para el agua de consumo humano

#	PARÁMETRO	UNIDADES	LÍMITES: Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2014. Quinta Revisión. Agua Potable. Requisitos
PARÁMETROS FÍSICOS			
1	Ph	---	6,5 – 8,5
2	Color	Unid. (Pt-Co)	15
3	Turbiedad	NTU	5
4	Sólidos Totales	mg/l	1000
5	Sólidos Disueltos	mg/l	500
PARÁMETROS QUÍMICOS			
6	Dureza	mg/l	200
7	Calcio	mg/l	70
8	Alcalinidad	mg/l	250 – 300
9	Cloruros	mg/l	250
10	Sulfatos	mg/l	200
11	Amonios	mg/l	<0,50
12	Nitritos	mg/l	3
13	Nitratos	mg/l	50
14	Hierro	mg/l	0,30
15	Fosfatos	mg/l	<0,30
16	Fluoruros	mg/l	1,5
17	Aluminio	mg/l	0,2**
PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS			
18	Coliformes Totales	UFC/100 ml	<1
19	Coliformes Fecales	UFC/100 ml	<1

\*\* Tulsma.

**Fuente:** Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2014. Agua Potables. Requisitos.**Elaborado por:** Byron Arequipa, 2015

**Tabla 4- 1:** Valores máximos aceptables para el Agua Potable - OMS (1992)

SUSTANCIAS	CONCENTRACIÓN MÁXIMA ACEPTABLE	CONCENTRACIÓN MÍNIMA TOLERABLE
Sólidos Totales	500 mg/l	1500 mg/l
Color	5 unidades*	50 unidades
Turbiedad	5 unidades**	25 unidades
Conductividad	1250 $\mu$ s/cm	1500 $\mu$ s/cm
Sabor	No rechazable	-
Olor	No rechazable	-
Hierro (Fe)	0,3 mg/l	1,0 mg/l
Manganeso (Mn)	0,1 mg/l	0,5 mg/l
Cobre (Cu)	1,0 mg/l	1,5 mg/l
Zinc (Zn)	5,0 mg/l	15 mg/l
Calcio (Ca)	75 mg/l	200 mg/l
Magnesio (Mg)	50 mg/l	150 mg/l
Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	200 mg/l	400 mg/l
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	200 mg/l	600 mg/l
pH	7,0 – 8,0	6,5 – 9,2
Mg + Sulfato de sodio	500 mg/l	1000 mg/l
Compuestos fenólicos como fenol	0,001 mg/l	0,002 mg/l
Contaminantes orgánicos	0,2 mg/l	0,5 mg/l
Sustancias activas al azul de metileno	0,2 mg/l	0,5 mg/l
* Escala Platino Cobalto ** Unidades de turbiedad		

**Fuente:** Valores Máximos Aceptables para el Agua Potable – OMS (1992)

**Elaborado por:** Byron Arequipa, 2015

## **1.4. Proceso de potabilización del agua**

### ***1.4.1. Sistema de captación***

La fuente de abastecimiento y la obra de captación deberán proveer el gasto máximo diario de proyecto o al menos el gasto requerido a fin de satisfacer las necesidades inmediatas del lugar por abastecer, sin peligro de reducción por sequía o cualquier otra causa.

De acuerdo con el tipo de fuente pueden existir captaciones superficiales o subterráneas, pero también puede captarse el agua de lluvia.

### ***1.4.2. Desarenación***

Tiene por objetivo la retención en corto tiempo los sólidos más pesados que se encuentran en el agua, como arena, grava, lodo y adicionalmente los sólidos flotantes (basura). Cuyo propósito es reducir el volumen de sólidos que ingresan a la planta, eliminar interferencias en los procesos y operaciones siguientes y evitar daños u obstrucciones en tuberías y equipos.

Con la desarenación baja la turbiedad del agua y así empieza la clarificación del agua. Son muchos los factores que influyen en este proceso, pero las principales son los que se presentan a continuación:

- ✓ Tamaño y peso de las partículas.
- ✓ Resistencia a la fricción del agua.
- ✓ Profundidad del estanque.
- ✓ Sistema de entrada y de salida del agua.
- ✓ Método de operación.
- ✓ Tiempo de retención.

La desarenación se lleva a cabo en un desarenador, el cual es por lo general un tanque rectangular, mucho más largo que ancho, dentro del cual el agua circula a muy poca velocidad con el fin de que las partículas se asienten en el fondo, por acción de la fuerza de gravedad. El desarenador constituye

la primera unidad de tratamiento y se refiere normalmente a la remoción de las partículas superiores a 0,2 mm. El desarenador está dividido en cuatro componentes:

**a) Zona de entrada**

Tiene como función el conseguir una distribución uniforme de las líneas de flujo dentro de la unidad, uniformizando a su vez la velocidad.

**b) Zona de desarenación**

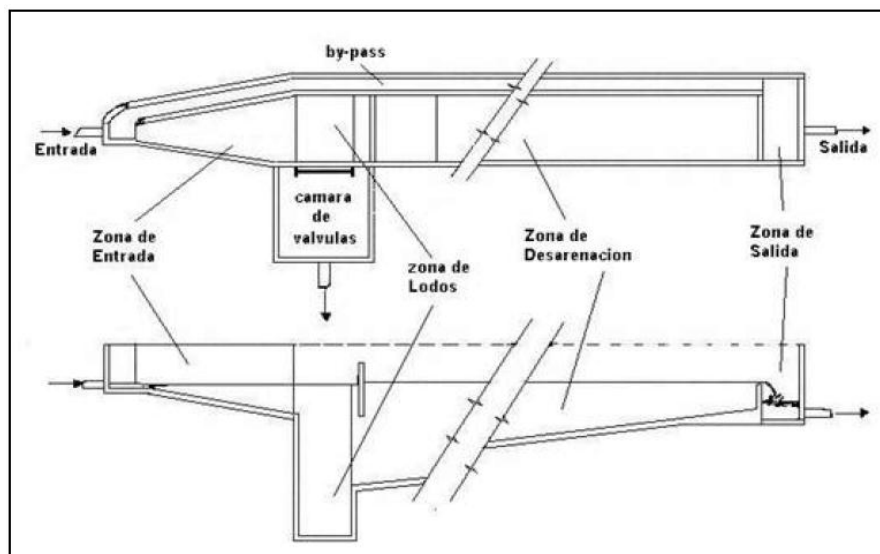
Parte de la estructura en el cual se realiza el proceso de depósito de partículas por acción de la gravedad.

**c) Zona de salida**

Conformada por un vertedero de rebose diseñado para mantener una velocidad que no altere el reposo de la arena sedimentada.

**d) Zona de depósito y eliminación de la arena sedimentada**

Constituida por una tolva con pendiente mínima de 10 por ciento que permita el deslizamiento de la arena hacia el canal de limpieza de los sedimentos.



**Figura 2- 1: Desarenador (Planta y corte longitudinal)**

**Fuente:** Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores

### **1.4.3. Aducción**

Se lo denomina aducción al proceso de conducir el agua desde la captación hasta la planta de tratamiento. Además un sistema de aducción está compuesto por un conjunto de elementos como tuberías, canales, túneles y otros dispositivos permitiendo transportar el agua desde el punto de captación hasta un tanque de almacenamiento o planta de tratamiento.

#### **1.4.3.1. Conducción por gravedad (Acueductos, Canales)**

El agua circula por la propia pendiente de la conducción desde el punto de toma, que tendrá más cota o altura hasta el punto de entrada.

#### **1.4.3.2. Conducción forzada**

Se utilizan cuando el punto de toma está situado a una cota más baja que la entrada en la planta para salvar la diferencia de alturas se emplean grupos de bombeo.

### **1.4.4. Coagulación**

Las partículas que forman la turbiedad y el color de las aguas naturales, por lo general poseen cargas eléctricas negativas, aunque también existen cargas eléctricas positivas, se puede afirmar que el agua y las soluciones son eléctricamente neutras. Las cargas eléctricas de las partículas generan fuerza de repulsión entre ellas, por lo cual se mantienen suspendidas y separadas en el agua. Es por esta razón que dichas partículas no se sedimentan. (RODRÍGUEZ. C, Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua, 1995, p.115)

A través del proceso de coagulación se neutraliza la carga eléctrica del coloide anulando las fuerzas electrostáticas repulsivas, y esto por lo general se realiza aplicando al agua determinadas sales de aluminio o hierro (coagulantes); de forma que los cationes trivalente de aluminio o hierro neutralizan las cargas eléctricas negativas que suelen rodear a las partículas coloidales dispersas en el agua.

#### *1.4.4.1. Factores que influyen en la coagulación*

El proceso de coagulación se ve afectado por diversos factores, que se detallan a continuación:

- **Tipo y cantidad de coagulante:** aunque hay una cierta relación entre la turbidez del agua bruta y la dosis de coagulante, la cantidad exacta se debe determinar mediante ensayos para evitar sobredosificaciones que rompan la adsorción superficial.
- **pH del agua:** para cada coagulante, existe una zona de pH donde se produce una buena floculación en corto plazo y con una dosis dada de coagulante, debiéndose efectuar siempre en esa zona para optimizar productos y rendimientos.
- **Tiempo de mezcla y floculación (período de coagulación):** es el tiempo transcurrido entre la adición de coagulante y el final de la agitación a una velocidad que impida la decantación de las materias floculadas.
- **Temperatura del agua:** la temperatura influye en el tiempo requerido para una buena formación de coágulos, entre más fría es el agua, su reacción es más lenta y su tiempo de formación del floc es mayor.
- **Tamaño de las partículas:** las partículas deben tener el diámetro inferior a una micra. Las partículas con diámetro entre una y cinco micras, sirven como núcleos del floc, en cambio con diámetros superiores a cinco micras, son demasiado grandes para ser incorporadas en el floc.
- **Alcalinidad:** guarda relación con el pH y por lo tanto el contenido de alcalinidad del agua es uno de los factores a considerar en la coagulación.

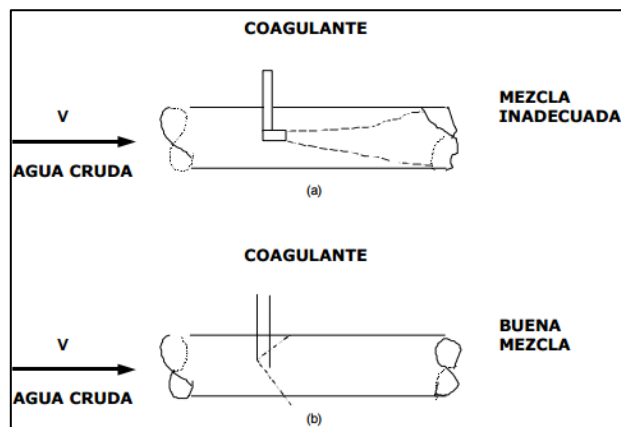
#### *1.4.4.2. Coagulantes*

Son aquellos compuestos de hierro y aluminio que tienen la capacidad de formar un floc y por ende efectuar la coagulación al ser añadidos al agua.

Los productos químicos que regularmente se utilizan en la coagulación son sulfato de aluminio, cloruro férrico, aluminio de sodio, sulfato ferroso y cal. Entre las ayudas de coagulación se incluye

el cloruro de magnesio, el aluminato de sodio, la sílice activa, el almidón y gran número de polielectrolitos de masa molecular alta.

El coagulante debe distribuirse de manera uniforme en toda la masa de agua y para que la mezcla se realice en una forma completa el coagulante deberá aplicarse en una zona de gran turbulencia. A esta zona se le denomina mezcla rápida.



**Figura 3- 1:** Condiciones de mezcla

Fuente: Tratamiento de agua.

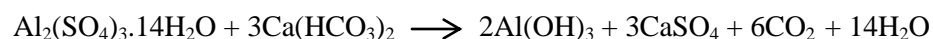
#### 1.4.4.2.1. Clases de coagulantes

Entre los coagulantes a utilizarse en la práctica para el agua potable son los siguientes:

- **Sales de aluminio:** forman un floc ligeramente pesado. Las más conocidas son: el sulfato de aluminio  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ , el sulfato de aluminio amoniacal y el aluminato sódico. Siendo el primero el que se utiliza con mayor frecuencia por su bajo costo y manejo relativamente sencillo.

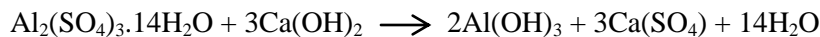
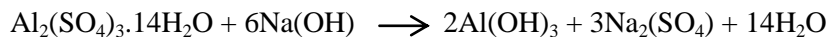
Teóricamente, las reacciones son las siguientes:

- ✓ Con la alcalinidad natural;





- ✓ Con la alcalinidad agregada;



- **Sales de hierro:** tenemos el cloruro férrico,  $\text{FeCl}_3$ , y los sulfatos de hierro férrico y ferroso,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  Forman un floc más pesado y de mayor velocidad de asentamiento que las sales de aluminio.
- **Polímeros o polielectrolitos:** son compuestos complejos de alto peso molecular que se utilizan no específicamente como coagulante sino como ayudantes de coagulación. La dosificación se lleva a cabo en concentraciones muy bajas, lo cual es una gran ventaja y compensa el costo del polímero. Actualmente están siendo usados en plantas de tratamiento de aguas potables debido a que produce una menor cantidad de lodos, el mismo que es fácilmente tratable.

#### **1.4.5. Floculación**

La floculación consiste en la agitación de la masa coagulada a fin de permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad.

La floculación es favorecida por el mezclado lento que permite juntar poco a poco los flóculos; un mezclado demasiado intenso los rompe y raramente se vuelven a formar en su tamaño y fuerza óptimos. La floculación no solo incrementa el tamaño de las partículas del flóculo, sino que también aumenta su peso. (SEDAPAL, Tratamiento de agua: coagulación floculación, 2000, p.33)

##### **1.4.5.1. Tipos de floculación**

Existen dos tipos de floculación:

➤ **Floculación pericinética**

Producido dentro del líquido por el movimiento que tienen las partículas en él, debido a la agitación, gravedad y el peso de las partículas, las que se aglomeran al caer y es cuando el contacto entre las partículas es producido por el movimiento browniano, que sólo influye en partículas de tamaños menores a un micrón. Actúa solo al comienzo del proceso, es decir, en los primeros 6 a 10 segundos y es independiente del tamaño de la partícula.

➤ **Floculación ortocinética**

Se basa en las colisiones de las partículas debido al movimiento del agua, el que es inducido por una energía exterior a la masa de agua y que puede ser de origen mecánico o hidráulico. Efectivo solo con partículas mayores a un micrón. Actúa durante el resto del proceso, de 20 a 30 minutos.

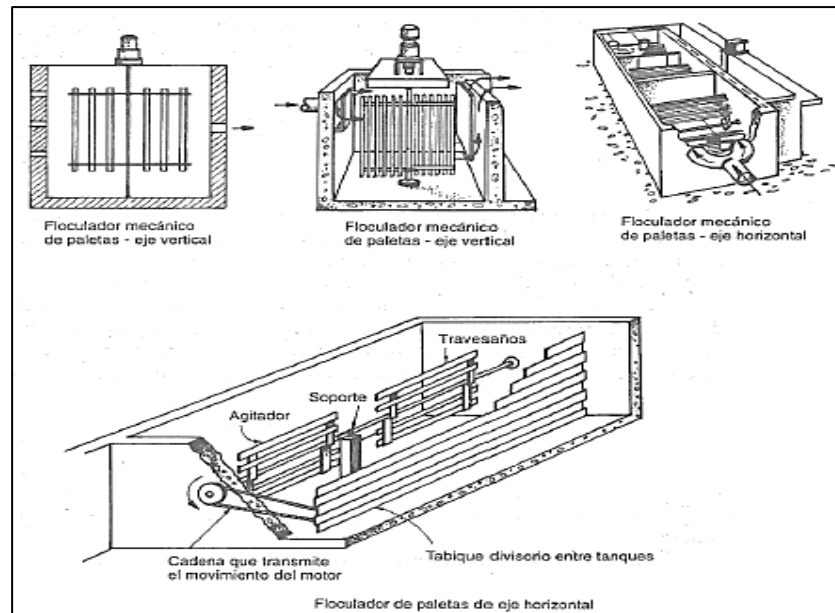
*1.4.5.2. Factores que influyen en la floculación*

- Floculación ortocinética (se da por el grado de agitación proporcionada: Mecánica o Hidráulica).
- Gradiente de velocidad (energía necesaria para producir la mezcla).
- Número de colisiones (choque entre microfloculos).
- Tiempo de retención (tiempo que permanece el agua en la unidad de floculación).
- Densidad y tamaño de floc.
- Volumen de lodos (los floculos formados no deben sedimentar en las unidades de floculación).  
(SEDAPAL, Tratamiento de agua: coagulación floculación, 2000, p.34)

El proceso de floculación se lleva a cabo a través estructuras llamadas floculadores, entre las cuales tenemos:

➤ **Floculadores mecánicos**

Se introduce potencia al agua para asegurar una mezcla lenta mediante agitadores mecánicos, siendo el más usado el de paletas, ya sean de eje horizontal o vertical, las cuales proporcionan un movimiento rotatorio al agua así como cierta turbulencia interna. También existen impulsores de turbina y de flujo axial.



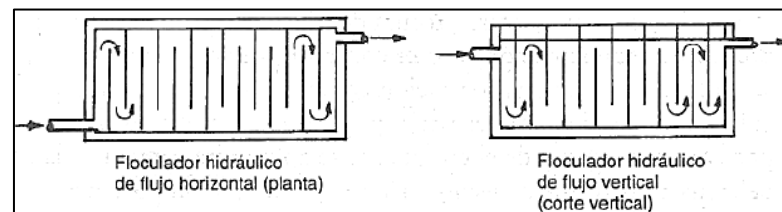
**Figura 4- 1:** Floculadores mecánicos

Fuente: Romero, J. Potabilización del agua, 1999.

#### ➤ Floculadores hidráulicos

La agitación del agua se da por la velocidad de la misma, entre los más comunes tenemos los de flujo horizontal y los de flujo vertical.

En la práctica, los floculadores hidráulicos de flujo horizontal se emplean para plantas pequeñas, caudales menores de 50 L/s; los de flujo vertical, que se construyen más profundos (2–3 m), para plantas grandes.



**Figura 5- 1:** Floculadores hidráulicos

Fuente: Romero, J. Potabilización del agua, 1999.

#### 1.4.6. Sedimentación

Operación o proceso por la cual se remueven las partículas salidas de una suspensión mediante la fuerza de gravedad; también se lo llama clarificación o espesamiento. La remoción de materiales en

suspensión se obtiene al reducir la velocidad del agua, hasta lograr que las partículas en suspensión se depositen en determinado tiempo de retención. Este proceso se produce en los sedimentadores.

Por lo general el sedimentador es un tanque rectangular o circular y cuyo fondo muchas veces está inclinado hacia uno o más puntos de descarga. Estos tanques poseen dispositivos de entrada y salida del agua, previstos para evitar cortocircuitos y zonas muertas para así conseguir una mejor distribución del líquido en el interior de la unidad.

El período teórico de retención en el sedimentador corresponde al volumen del tanque dividido por el caudal. Como en todo sedimentador existen espacios muertos el período real de retención siempre es inferior al teórico.

#### *1.4.6.1. Tipos de sedimentación*

La sedimentación ocurre de diferentes maneras, según la naturaleza de los sólidos, su concentración y su grado de floculación.

En el agua se pueden encontrar partículas denominadas **discretas**, las cuales no cambian su tamaño, forma o peso cuando se sedimentan, y partículas **floculentas** y **precipitantes** en las cuales la densidad y el volumen cambia a medida que se adhieren unas con otras mediante mecanismos de floculación, precipitación, arrastre o barrido.

Dichos tipos de sedimentación son:

##### ➤ **Sedimentación tipo 1:**

Se refiere a la remoción de partículas discretas no floculentas en una suspensión diluida. En estas condiciones se dice que la sedimentación es no interferida y es función solamente de las propiedades del fluido y de las características de la partícula. Es el tipo de sedimentación que ocurre en partículas de características floculentas mínimas en suspensiones diluidas, como sería el caso de sedimentación de materiales pesados inertes.

##### ➤ **Sedimentación tipo 2:**

Se refiere a la sedimentación de suspensiones diluidas de partículas floculentas, en las cuales es necesario considerar las propiedades floculentas de la suspensión junto con las características de

asentamiento de las partículas. Generalmente ocurre en el tratamiento de aguas residuales y en la purificación de aguas potables cuando los sedimentadores están precedidos de floculadores y coagulación.

➤ **Sedimentación zonal:**

Describe la sedimentación másica y se refiere al proceso de sedimentación de suspensiones de concentración intermedia de material floculento, en las cuales se presenta un asentamiento interferido debido a la cercanía entre partículas.

➤ **Compresión:**

Se da cuando la concentración aumenta a un valor en que las partículas están en contacto físico unas con otras y el peso de ellas es sostenido parcialmente por la masa compactada. Se presenta en operaciones de espesamiento de lodos cuando las partículas se acumulan en el fondo del tanque de sedimentación.

#### ***1.4.7. Filtración***

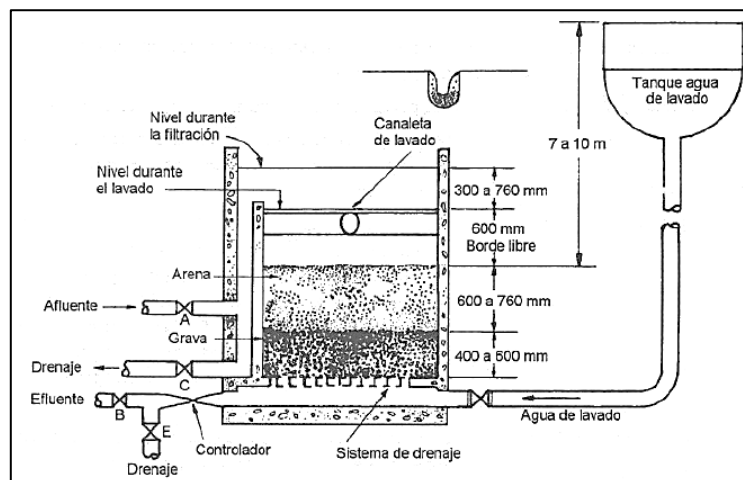
La obtención de agua clara y cristalina es prerequisite para la dotación de agua segura al lugar por abastecer. Aproximadamente cerca del 90 por ciento de la turbiedad y el color son removidos por los procesos de coagulación y sedimentación, existiendo una cierta cantidad de flóculo que pasa el tanque de sedimentación y requiere su remoción. Por lo tanto, para lograr su clarificación completa se usa la filtración a través de medios porosos que por lo general son arena o arena y antracita.

En la planta de tratamiento de agua potable la filtración remueve el material suspendido, como turbiedad, compuesto de flóculo, suelo, metales oxidados y microorganismos. Siendo de gran importancia la remoción de microorganismos debido a que muchos de ellos son extremadamente resistentes a la desinfección y por ende son removibles mediante filtración.

##### ***1.4.7.1. Descripción de la filtración***

El filtro rápido por gravedad es el tipo de filtro más usado en tratamiento de aguas. La operación de filtración supone dos etapas: filtración y lavado. En un filtro rápido convencional, el final de la etapa de filtración o carrera del filtro se produce cuando los sólidos suspendidos (turbiedad) en el efluente comienzan a aumentar; cuando la pérdida de carga es tan alta que el filtro ya no produce

agua a la tasa deseada, usualmente 2,4 m de pérdida, o cuando la carrera del filtro es de 36 horas o más. Por lo tanto, cuando una de las condiciones anteriores se presenta, se procede a lavar el filtro con el fin de remover el material suspendido acumulado dentro del lecho filtrante recuperando así su capacidad de filtración. Por lo general el lavado se hace invirtiendo el flujo a través del filtro, aplicando un flujo suficiente de agua para fluidizar el medio filtrante y producir el frote entre los granos del mismo, y desechando el material removido a través de las canaletas de lavado.

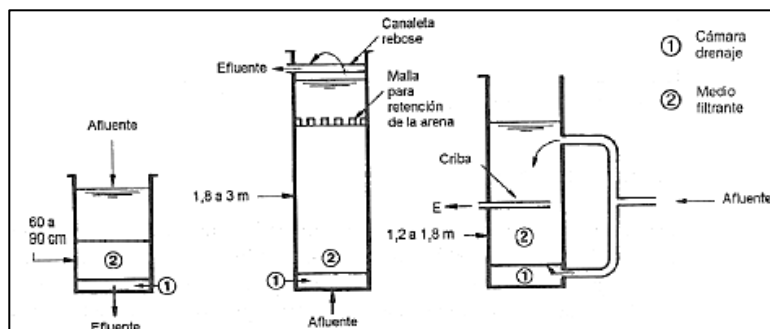


**Figura 6- 1:** Filtración y lavado  
**Fuente:** Romero, J. Potabilización del agua, 1999.

#### 1.4.7.2. Sistemas de filtración

##### ➤ Dirección de flujo

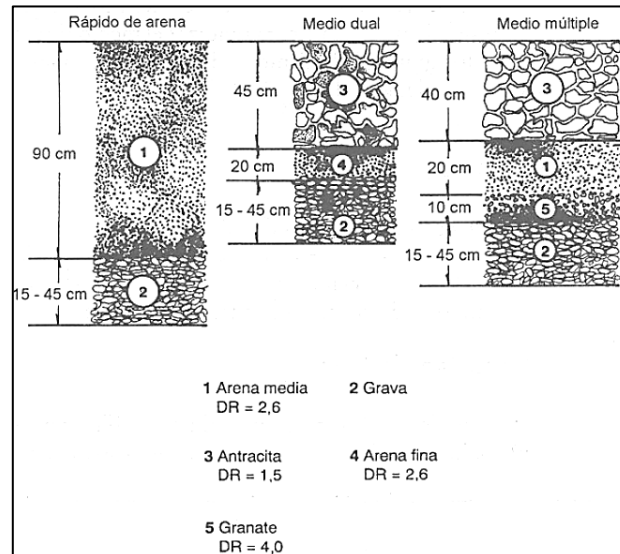
Con respecto a la dirección de flujo, los filtros pueden ser de flujo hacia abajo, hacia arriba, o de flujo dual.



**Figura 7- 1:** Dirección de flujo  
**Fuente:** Romero, J. Potabilización del agua, 1999.

### ➤ Tipo de lecho filtrante

Generalmente utilizan un solo medio, arena o antracita; un medio dual, arena y antracita, o un lecho mezclado: arena, antracita y granate o ilmenita.

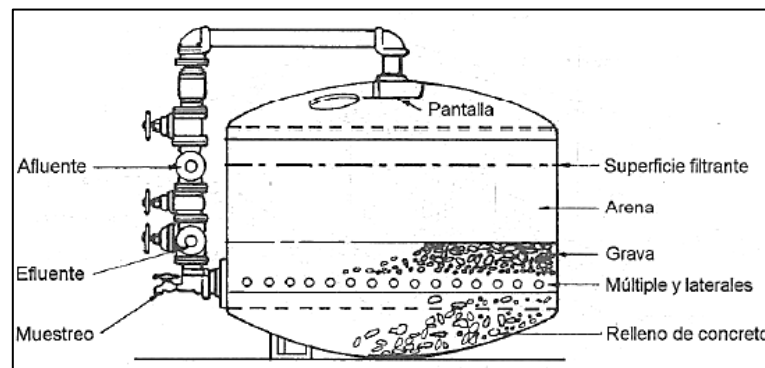


**Figura 8- 1:** Tipos de lecho filtrante

Fuente: Romero, J. Potabilización del agua, 1999.

### ➤ Fuerza impulsora

Los filtros se clasifican como filtros de gravedad o de presión. El filtro por gravedad es el más usado en plantas de tratamiento de agua potable. El filtro a presión se usa especialmente en la filtración de aguas para piscinas y en pequeñas plantas donde su instalación es ventajosa.

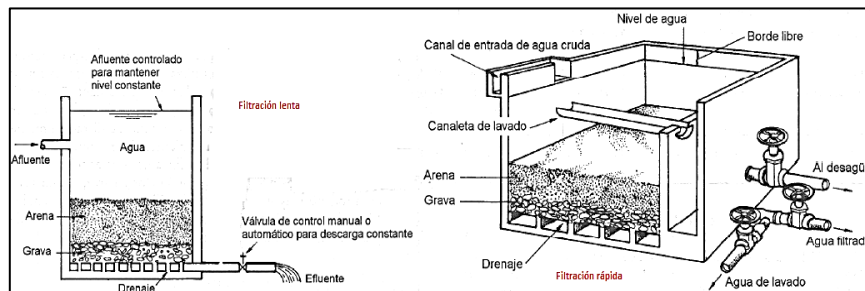


**Figura 9- 1:** Filtro a presión

Fuente: Romero, J. Potabilización del agua, 1999.

### ➤ Tasa de filtración

Para el tratamiento de agua potable los primeros filtros en ser aplicados fueron los filtros lentos, los mismos que constaba de una capa de arena fina de 1 m soportada sobre un lecho de grava de aproximadamente 0,30 m. Sin embargo, fueron reemplazados por los filtro rápidos, filtros de arena, generalmente con lavado ascensional, con tasas de filtración mucho mayores y por lo tanto con área mucho menores. Posteriormente, con el uso de medios filtrantes duales o lechos mezclados, se lograron diseños mucho más económicos en área, al usar tasas de filtración todavía mayores que las de los filtros rápidos convencionales (ROMERO. R, Potabilización del agua, 1999, pp.80-199).



**Figura 10- 1:** Tasa de filtración

Fuente: Romero, J. Potabilización del agua, 1999.

### 1.4.8. Desinfección

En las plantas de tratamiento de agua la desinfección se lo realiza con cloro y por ende el término *desinfección*, se lo reemplaza por *cloración*.

La desinfección es una medida que se debe tomar en consideración en todos los sistemas de abastecimiento, bien con carácter correctivo o bien preventivo. Debido a que toda agua pura o purificada en una estación de tratamiento puede tener un largo recorrido hasta el momento en que es consumida. De igual manera los reservorios pueden producir contaminación.

#### 1.4.8.1. Compuestos de cloro más utilizados

➤ **Cal clorada (cloruro de cal).** Es un polvo blanco con una proporción de 25 a 30 por ciento de cloro disponible.



Al almacenar en un lugar seco y frío, se pierde poco cloro, pero cuando el lugar es húmedo y caliente, se deteriora rápidamente. Se emplean en instalaciones pequeñas, en casos de emergencia, fábricas y piscinas, con una solución de hasta 2,5 por ciento de cloro disponible.

- **Hipoclorito de calcio (Perchloron, HTC, etc.).** Polvo granular de color ligeramente amarillento, expende comercialmente bajo la forma de polvo granular o en tabletas con un contenido de cloro activo de 65 a 70 por ciento. Puede almacenarse durante un año o más, siempre y cuando sea en un ambiente bien acondicionado.
- **Hipoclorito de sodio.** La solución de hipoclorito de sodio se caracteriza por ser un líquido de color amarillo claro que contiene más de 160 g/L de cloro activo, pero que comercialmente se vende al 16%, 10% y 5.5%.

#### *1.4.8.2. Factores que influyen en la desinfección*

Entre los factores que influyen en la desinfección tenemos:

- La naturaleza y número de los organismos patógenos que van a ser destruidos.
- El tipo y concentración del desinfectante usado.
- La temperatura del agua, entre más alta sea es más rápida la desinfección.
- El tiempo de contacto del desinfectante con el agua.
- La naturaleza del agua que va a ser desinfectada.
- El pH del agua.
- La mezcla, una buena mezcla asegura la adecuada dispersión del desinfectante.(SENA, Calidad del agua, 1999, p.95).

### **1.5. Estado actual de la planta de tratamiento de agua potable del sector Yawari del cantón Archidona**

La planta de tratamiento se abastece actualmente del agua proveniente del río Calmituyacu a una altura de 696.170 m.s.n.m. sector denominado Batan Cocha, el cual durante su recorrido arrastra

contaminantes orgánicos que luego en su descomposición pueden generar microorganismos y que son eliminados por el proceso de potabilización.

El sistema de potabilización actual presenta las siguientes etapas:



**Gráfico 1- 1:** Planta actual  
Fuente: GADMA  
Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

Tales procesos se encuentran funcionando normalmente, pero en épocas de invierno por el exceso de lluvias el caudal aumenta llevando a taponar los filtros debido a la gran cantidad de presencia de sólidos que arrastra el río, siendo la turbiedad, color, hierro y fosfatos los parámetros que más se elevan en estas épocas.

#### **1.5.1. Captación**

Esta estructura está conformada por un canal de captación de toma lateral de 1,20 m de largo y 0,20 m de ancho y 0,80 m de fondo con rejillas colocadas verticalmente a la entrada del agua, este elemento está construido en hormigón armado, además esta estructura dispone de una compuerta para el desagüe del canal de captación.



**Figura 11- 1:** Captación del río Calmituyacu  
Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

### ***1.5.2. Desarenador***

Es un tanque rectangular, con un ancho de 1,30 m, con una altura de entrada al desarenador de 0,60 m y 1,30 m a la salida, está construido en hormigón y además dispone de válvula de compuerta para la operación de lavado. De ahí el agua es conducida por tubería a la planta de tratamiento con un recorrido de 3,41 km.



**Figura 12- 1:** Desarenador  
Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

### ***1.5.3. Pre cloración***

El efluente del desarenador llega a la planta de tratamiento donde se efectúa una pre cloración mediante la aplicación de hipoclorito de calcio, cuyo tanque es de plástico y tiene una capacidad de 1000 l.



**Figura 13- 1:** Pre cloración  
Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

#### ***1.5.4. Pre filtros***

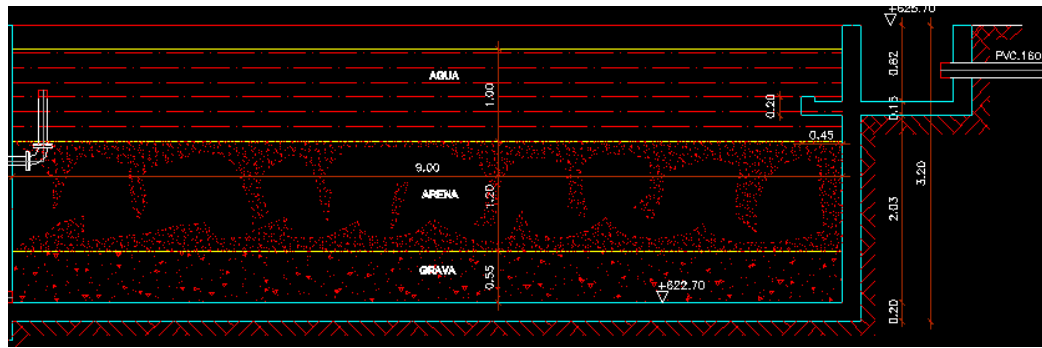
El proceso de pre filtración está previsto de 3 estructuras compuesto de grava de flujo ascendente y capas superpuestas, en donde la grava de mayor tamaño irá en el fondo y la de menor tamaño en la parte superior. Cada tanque presenta diferentes dimensiones, en el cual en el tanque 1 tiene 11,60m x 6,40m, el tanque 2 tiene 15,50m x 6m y el tanque 3 presenta 10,70m x 5,40m.



**Figura 14- 1:** Pre filtración  
Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

#### ***1.5.5. Filtros***

Esta etapa consta de 4 filtros lentos ascendentes los mismos que están formados de lecho múltiple de grava y arena, que tienen una dimensión de 9,68 m x 6,48 m y con una profundidad de 3,30 m. Los filtros están constituidos de aproximadamente de 1,20 m de arena y 0,55 m de grava.



**Figura 15- 1:** Distribución del medio filtrante

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

Cabe destacar que los filtros no disponen de un mecanismo de lavado, por lo que el operador de la planta se encarga de su mantenimiento mediante un raspado del lecho, a fin de remover la formación de lodos.

#### 1.5.6. Desinfección

El efluente de los filtros es enviado a un tanque de contacto donde se efectúa la desinfección, cuyo tanque es de plástico y tiene una capacidad de 1000 l. La desinfección se realiza mediante la aplicación de hipoclorito de calcio, el punto de aplicación del cloro está ubicado en el vertedero de control de la salida de la filtración, al ingreso del agua al tanque de contacto. Con la desinfección se garantiza la calidad bacteriológica del agua.



**Figura 16- 1:** Desinfección

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

### 1.5.7. Tanques de almacenamiento

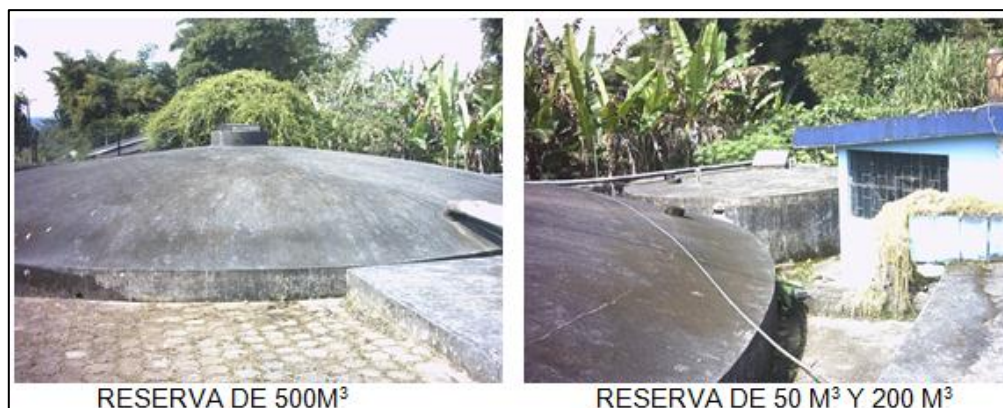
Los tanques de almacenamiento o de reserva están constituidos por tres tanques construidos en hormigón armado, un tanque de 50 m<sup>3</sup>, un tanque de 200 m<sup>3</sup> y un tanque de 500 m<sup>3</sup> dando una reserva total para su abastecimiento de 750 m<sup>3</sup>. Los tanques de reserva están ubicados en el mismo sitio donde se encuentra la planta de potabilización, son de sección circular y se encuentran enterrados, los mismos que presentan las características que se detallan en el siguiente cuadro:

**Tabla 5- 1:** Características de los tanques de reservas

Tanque	Diámetro (m)	Altura (m)	Volumen (m)	Cotas (m.s.n.m)		
				Tapa	N. agua	Fondo
1	9,2	3,0	200	623,51	621,70	618,70
2	5,0	2,5	50	622,20	621,40	618,90
3	13,5	3,5	500	624,03	621,88	618,38

Fuente: GADMA

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015



**Figura 17- 1:** Tanques de almacenamiento

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

### 1.6. Rediseño de la planta de tratamiento de agua potable

El término rediseño se caracteriza por los cambios, las mejoras y las nuevas combinaciones de soluciones de la planta de tratamiento de agua potable actual, y para esto se requiere de un estudio previo y la selección de procesos y operaciones adecuados a fin de producir agua que cumpla con las Normas de calidad NTE INEN 1108:2014.

Para la integración de los procesos de tratamiento de agua, se debe realizar un estudio previo con el propósito de justificar el proyecto, siendo éstos; la capacidad normal del diseño de una planta va a ser mayor que la demanda máxima diaria proyectada al período de diseño, entendiéndose por el período de diseño una estimación que las obras por construir serán eficientes que en este caso será para 20 años, ya que un sobredimensionamiento de los componentes del sistema ocasiona períodos de diseño altos y un ineficaz funcionamiento de los mismos, además deben garantizar una construcción económica pero durable, teniendo en consideración que los sistemas de tratamiento son usados por muchos años.

### **1.6.1. Medición del caudal**

Una de las variables a tomar en cuenta es el caudal, ya que a través de él se cuantifican consumos, se evalúa la disponibilidad del recurso hídrico y se planifica la respectiva gestión de la cuenca. (Solange. D, Aforo de un cauce natural).

#### **1.6.1.1. Método velocidad/superficie**

Este tipo de método son los más empleados para lo cual se requiere medir el área de la sección transversal del flujo de agua y la velocidad media de este flujo, multiplicado por un factor de corrección que corresponde a 0,99 para los canales con revestimiento de cemento y de 0,66 para los ríos o quebradas. Se utiliza la expresión:

$$Q = A * V(0,99) \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde:

Q= Caudal, (L/s).

A= Área de la sección transversal del flujo de agua, (m<sup>2</sup>).

v= Velocidad media del agua, (m/s).

✓ Determinación del área

$$A = hp * a \quad \text{(Ecuación 2)}$$

Donde:

A: Área de la sección transversal, (m<sup>2</sup>).

hp: Profundidad promedio,(m).

a: Ancho del río,(m).

✓ Determinación de la velocidad

(Ecuación 3)

$$V = \frac{d}{T}$$

Donde:

V: Velocidad del agua en esa sección, (m/s).

d: Distancia recorrida del flotador, (m).

T: Tiempo promedio que recorre el flotador, (s).

El problema principal es medir la velocidad media debido a que no es el mismo en todos los puntos de la corriente, al ser más lenta en los lados y en el fondo y más rápida en la superficie.

Entre los métodos más conocidos de aforo tenemos:

- a) Método del correntómetro o molinete.
- b) Método flotador.
- c) Método usando dispositivos especiales, tales como: vertedero y canaletas (Parshall, trapezoidal, sin cuello, orificio, etc.).
- d) Otros.

### **1.6.2. Período del rediseño**

Para la determinación del tiempo en el cual el sistema será 100 por ciento eficiente se tomará en cuenta los siguientes factores:

- Vidal útil de las instalaciones y equipos.
- Facilidades de construcción y ampliación de la infraestructura.
- Rata de crecimiento de la población servida.
- Posibilidades de financiamiento y rata de interés.

El sistema de agua potable se ha proyectado para satisfacer las necesidades de una población en estudio durante un lapso de 20 años, denominado período de diseño, lo suficientemente amplio para



solucionar las necesidades de servicio, pero que a la vez no represente grandes inversiones iniciales que imposibiliten su ejecución.

### ***1.6.3. Áreas de cobertura***

La cobertura del servicio de agua potable del cantón Archidona corresponde al 96% de la población y es un servicio continuo durante las 24 horas del día.

### ***1.6.4. Caudal para el diseño***

#### ***1.6.4.1. Población actual***

De acuerdo al Censo de Población, realizado en el 2010 por el INEC, el lugar de estudio (Archidona), cuenta con 11.689 habitantes y una tasa de crecimiento poblacional de 3,80%, del cual se abastecen del líquido vital 9.450 habitantes.

#### ***1.6.4.2. Población futura***

Para el cálculo de la población futura se utiliza el método de crecimiento geométrico, debido a que al aplicar este método supone que la población aumenta constantemente en una cifra proporcional cada período de tiempo. Cuyo crecimiento geométrico se representa de la siguiente ecuación:

$$N_t = N_0 \left(1 + \frac{r}{100}\right)^t \quad \text{(Ecuación 4)}$$

Donde:

$N_t$ : Población futura de diseño.

$N_0$ : Población actual.

$r$ : Tasa media de crecimiento poblacional.

$t$ : Tiempo de diseño.

#### ***1.6.4.3. Nivel de complejidad del sistema***

La asignación del nivel de complejidad se realiza con la población de diseño calculada y para su determinación se basa de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla 6- 1:** Nivel de complejidad del sistema

Nivel	Población de diseño
Bajo	<2500
Medio	2501 - 12500
Medio alto	12501- 60000
Alto	>60000

**Fuente:** Romero, J. Purificación del agua. 2006.

**Elaborado por:** Byron Arequipa, 2015

#### 1.6.4.4. Dotación neta

La dotación neta es la cantidad mínima de agua que se requiere para satisfacer las necesidades básicas de un habitante sin considerar las pérdidas que puedan ocurrir en el sistema de acueducto, expresada en l/hab-día.

**Tabla 7- 1:** Dotación neta

Nivel de complejidad	Dotación neta mínima l/hab-día	Dotación neta máxima l/hab-día
Bajo	100	150
Medio	120	170
Medio alto	130	-
Alto	150	-

**Fuente:** Romero, J. Purificación del agua. 2006.

**Elaborado por:** Byron Arequipa, 2015

##### 1.6.4.4.1. Corrección por temperatura

La temperatura ambiente es uno de los principales factores que afectan el consumo en una comunidad. El consumo neto puede incrementarse así:

**Tabla 8- 1:** Variación a la dotación neta según el clima

Nivel de complejidad	Clima cálido (mas de 28°C)	Clima templado (Entre 20°C y 28°C)	Clima frío (Menos de 20°C)
Bajo	+ 15%	+ 10%	No se admite corrección por clima
Medio	+ 15%	+ 10%	
Medio alto	+ 20%	+ 15%	
Alto	+ 20%	+ 15%	

**Fuente:** RAS, 2000.

**Elaborado por:** Byron Arequipa, 2015

#### 1.6.4.5. Dotación bruta

Se refiere a la cantidad máxima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante considerando las pérdidas que puedan ocurrir en el sistema de acueducto.

(Ecuación 5)

$$\text{Dotación bruta} = \frac{\text{Dotación neta}}{1 - \text{pérdidas técnicas}}$$

Las pérdidas técnicas para la dotación bruta pueden determinarse a partir de la siguiente tabla:

**Tabla 9- 1:** Pérdidas técnicas

Nivel de complejidad	% máximo admisible de pérdidas técnicas
Bajo	40
Medio	30
Medio alto	25
Alto	20

**Fuente:** Romero, J. Purificación del agua. 2006.

**Elaborado por:** Byron Arequipa, 2015

#### 1.6.4.6. Caudal medio diario

Es la cantidad de agua que se requiere para satisfacer las necesidades de la población en un día de consumo promedio. Cuya expresión se define así:

(Ecuación 6)

$$Q_{med} = \frac{P \times Db}{86.400}$$

Donde:

Qmed: Caudal bruta medio diario, (l/s).

P: Número de habitantes al final del período del diseño.

Db: Dotación bruta, (l/hab-día).

#### 1.6.4.7. Caudal máximo diario

El día de máximo consumo de una serie de registros observados durante los 365 días del año es definido como el caudal máximo diario. Su determinación se lo realiza mediante registros de consumo o a través si siguiente expresión:

(Ecuación 7)

$$QMd = K_1 * Qmed$$

Donde:

QMd: Caudal máximo diario, (l/s).

Qmed: Caudal medio diario, (l/s).

K<sub>1</sub>: Coeficiente de variación diaria.

**Tabla 10- 1:** Valores de K<sub>1</sub>

Nivel de complejidad	K <sub>1</sub>
Bajo	1,3
Medio	1,3
Medio alto	1,2
Alto	1,2

**Fuente:** Romero, J. Purificación del agua. 2006.

**Elaborado por:** Byron Arequipa, 2015

#### 1.6.4.8. Caudal de captación

Las estructuras de captación, se la trazará con una capacidad equivalente a 1,4 veces el caudal máximo diario (QMd):

(Ecuación 8)

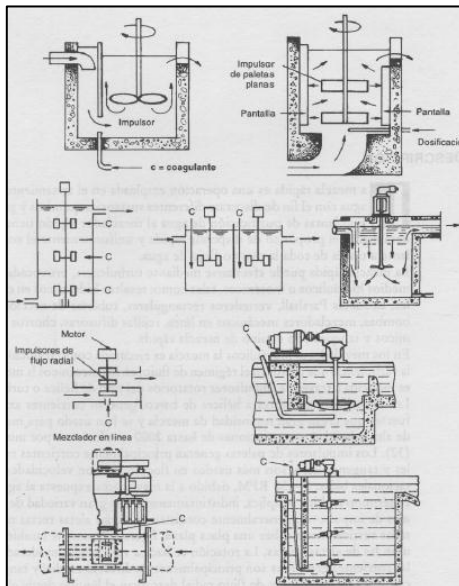
$$Q_{captación} = 1,4 * QMd$$

#### 1.6.5. Mezcla rápida

Es una operación que se emplea en el tratamiento del agua con el fin de dispersar diferentes sustancias químicas y gases. En los sistemas de tratamiento de agua el mezclador rápido tiene el propósito de dispersar rápida y uniformemente el coagulante a través de toda la masa o flujo de agua.

La mezcla rápida puede efectuarse mediante turbulencia, provocada por medios hidráulicos o mecánicos, tales como: resaltos hidráulicos en canales, canaletas Parshall, vertederos rectangulares, tuberías de succión de bombas, mezcladores mecánicos en línea, rejillas difusoras, chorros químicos y tanques con equipo de mezcla rápida.

En los mezcladores hidráulicos la mezcla es ejecutada como resultado de la turbulencia que existe en el régimen de flujo; en los mecánicos la mezcla es inducida a través de impulsores rotatorios del tipo de hélice o turbina.



**Figura 18- 1:** Tipos de mezcladores mecánicos  
Fuente: Romero, J. Potabilización del agua, 1999.

La canaleta Parshall se aplica exclusivamente para plantas de medianas a grandes ( $Q \geq 500$  l/s). El canal con cambio de pendiente se adecúa a cualquier rango de caudal, y los vertederos rectangular y triangular solo a caudales pequeños; siendo el último, preferiblemente para caudales menores a 30 l/s.

#### 1.6.5.1. Parámetro de diseño

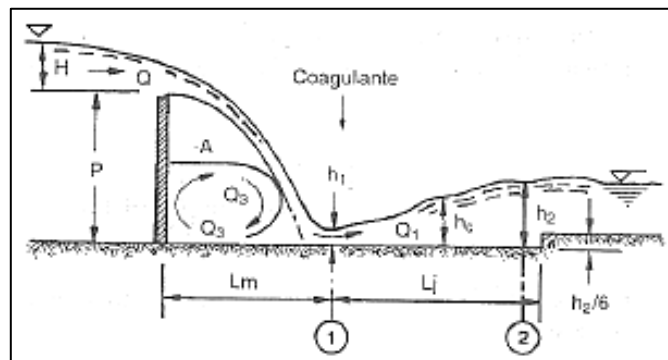
- ✓ Gradientes de velocidad entre 1000 y 2000  $s^{-1}$  y tiempos de retención menores de 1 segundo.
- ✓ Número de Froude (F) entre 4,5 y 9,0 para conseguir un salto estable, a excepción de la canaleta de Parshall que funciona mejor con números de Froude comprendido entre 2 y 3.
- ✓ El coagulante debe aplicarse en el punto de mayor turbulencia, en forma constante y debe distribuirse uniformemente en toda la masa de agua.

#### 1.6.5.2. Mezcla rápida en vertederos rectangulares

La metodología de cálculo fue formulada por Richter con las siguientes limitaciones:

- ✓ Vvertedero rectangular, sin contracciones laterales, en caídas libre.
- ✓ Relación  $P/h_c$  la menor posible, para reducir la pérdida de energía en la caída libre de la lámina vertedora.
- ✓ Para que el vertedero rectangular pueda ser utilizado como aforador, la relación  $P/h_c$  debe ser mayor de 3.
- ✓ Plantas pequeñas, caudal constante y flujo por gravedad.

Para asegurar una dispersión homogénea y continua del coagulante en toda la masa de agua cruda, el coagulante debe aplicarse sobre la sección 1, a una distancia  $L_m$  del vertedero. La aplicación del coagulante a una distancia menor de  $L_m$  no es recomendable, porque haría que parte del agua cruda recibiese una dosis mayor de coagulante y la restante una dosis menor. Cuando la lámina de agua llega al fondo, se divide en una corriente principal que se mueve hacia el frente y en una corriente secundaria que retorna haciendo que una masa de agua sea represada contra el vertedero. El chorro secundario arrastra un volumen igual de agua hacia el punto A y retorna la corriente a la misma tasa  $Q_3$  haciendo que parte del agua cruda reciba una cantidad mayor de coagulante que la porción restante y disminuyendo consecuentemente la eficiencia de la coagulación. Sin embargo, debe reconocerse que si se aplica el coagulante a una distancia menor que  $L_m$  se aprovecha toda la energía del resalto disponible para la mezcla.



**Figura 19- 1:** Configuración del resalto en un vertedero rectangular  
**Fuente:** Romero, J. Potabilización del agua, 1999.

La distancia  $L_m$  puede calcularse, aproximadamente, por la ecuación de Scimeni, en función de la altura del vertedero  $P$  y de la altura de la lámina de agua  $H$ ,

$$L_m = 1,45 P^{0,56} H^{0,46} \quad \text{(Ecuación 9)}$$

Donde:

$P$ : Altura del vertedero, (m).

$H$ : Altura de la lámina de agua, (m).

El valor de  $L_m$  calculado por la ecuación anterior, se incrementa para tener en cuenta la distancia total adicional correspondiente al ancho de la lámina vertiente en el punto de reposo.

Para vertederos rectangulares de pared gruesa se usa la ecuación siguiente, deducida experimentalmente:

$$L_m = 4,3 P^{0,1} h_c^{0,9} \quad \text{(Ecuación 10)}$$

Donde:

$h_c$ : Profundidad crítica de flujo, (m).

$P$ : Altura del vertedero, (m).

La profundidad crítica de flujo,  $h_c$  es:

$$h_c = \left( \frac{q^2}{g} \right)^{1/3} \quad \text{(Ecuación 11)}$$

Donde:

$h_c$ : Profundidad crítica de flujo, (m).

$g$ : Gravedad, (m/s<sup>2</sup>).

$q$ : Caudal por unidad de ancho del vertedero, (m<sup>2</sup>/s).

El caudal, por unidad de ancho del vertedero,  $q$ , está dado por:

$$q = \frac{Q}{B} \quad \text{(Ecuación 12)}$$

Donde:

$q$ : Caudal por unidad de ancho del vertedero, (m<sup>2</sup>/s).

$Q$ : Caudal actual, (m<sup>3</sup>/s).

$B$ : Ancho del vertedero, (m).

Cuando hay resalto, la profundidad del agua en la sección 1 debe estar relacionada con la profundidad crítica,  $h_c$ , por la ecuación de White:

(Ecuación 13)

$$\frac{h_1}{h_c} = \frac{\sqrt{2}}{1,06 + \sqrt{\frac{P}{h_c} + 1,5}}$$

Donde:

$h_c$ : Profundidad crítica, (m).

$h_1$ : Profundidad antes del resalto, (m).

P: Altura del vertedero, (m).

Las profundidades, antes y después del resalto,  $h_1$  y  $h_2$ , están relacionadas entre sí por:

(Ecuación 14)

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1}{2}$$

Donde:

$h_1$ : Profundidad antes del resalto, (m).

$h_2$ : Profundidad después del resalto, (m).

$F_1$ : Número de Froude.

(Ecuación 15)

$$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gh_1}}$$

Donde:

$V_1$ : Velocidad en la sección 1, (m/s).

g: Gravedad, (m/s<sup>2</sup>).

$h_1$ : Profundidad antes del resalto, (m).

El número de Froude en la sección 1,  $F_1$ , para que haya resalto estable y mezcla eficiente debe estar comprendido entre 4,5 y 9,0.

Los valores de  $V_1$  y  $V_2$  se calculan por las expresiones:

(Ecuación 16)

$$V_1 = \frac{q}{h_1}$$

Donde:

$V_1$ : Velocidad en la sección 1, (m/s).



(Ecuación 17)

$$V_2 = \frac{q}{h_2}$$

Donde:

$V_2$ : Velocidad en la sección 2, (m/s).

El valor de la pérdida de energía en el resalto,  $h$ , se puede calcular a partir de la formula de Belanger:

(Ecuación 18)

$$h = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1h_2}$$

La longitud del resalto,  $L_j$ , para resalto estable, se calcula con la fórmula de Smetana:

(Ecuación 19)

$$L_j = 6(h_2 - h_1)$$

El tiempo de mezcla  $T$ , se calcula así:

(Ecuación 20)

$$T = \frac{L_j}{V_m}$$

Donde:

$V_m$ : Velocidad media, (m/s).

La velocidad media en el resalto,  $V_m$ , por:

(Ecuación 21)

$$V_m = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

El gradiente de velocidad, por la ecuación convencional:

(Ecuación 22)

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} x \sqrt{\frac{h}{T}}$$

Donde:

$G$ : Gradiente de velocidad, ( $s^{-1}$ ).

$h$ : Pérdida de energía en el resalto, (m).

$T$ : Tiempo de retención, (s).

$\sqrt{\gamma/\mu}$ : Relación peso específico y viscosidad absoluta. [Anexo A (1)].

#### **1.6.6. Floculación**

Se refiere a la aglomeración de partículas coaguladas en partículas floculentas; es el proceso por el cual, una vez desestabilizados los coloides, se provee una mezcla suave de las partículas para incrementar la tasa de encuentros o colisiones entre ellas sin romper o disturbar los agregados preformados.

De igual forma que la coagulación, la floculación es influenciada por fuerzas químicas y físicas como la carga eléctrica de las partículas, la capacidad de intercambio, el tamaño y la concentración del flóculo, pH, la temperatura del agua y la concentración de los electrolitos.

Teniendo en cuenta que cada uno de los factores que participan en la floculación no están aún definidas exactamente, por lo que es importante conocer dicho comportamiento del agua a través ensayos de jarras o experiencias previas en plantas de tratamiento.

Una vez introducido y mezclado el coagulante, las partículas diminutas coaguladas son puestas en contacto una con otra con las demás partículas presentes, mediante agitación lenta prolongada, floculación, durante la cual las partículas se aglomeran, incrementan su tamaño y adquieren mayor densidad. El floculador es por tanto un tanque con algún medio de mezcla suave y lenta, con un tiempo de retención prolongado.

##### **1.6.6.1. Pruebas de jarras**

El objetivo de este ensayo es poder determinar la dosis de coagulante que produce la más rápida desestabilización de las partículas coloidales en la planta y hace que se forme un floc pesado y compacto que quede fácilmente retenido en los sedimentadores y no se rompa al pasar por el filtro. Debe observarse que no necesariamente el floc que sedimenta rápidamente es el que queda retenido en el filtro con más facilidad. El floc que se busca, por tanto, es aquel que da el mayor rendimiento en el conjunto de los procesos de clarificación. El ensayo de jarras trata de reproducir las condiciones en las cuales se produce la floculación en la planta de tratamiento.

Hay que tener en cuenta, sin embargo, que el hecho de que la prueba de jarras sea un ensayo rutinario en la operación de las plantas, no significa que puede ejecutarse descuidadamente, lo que por desgracia suele ser bastante común.

El ensayo de jarras es uno de los más importantes en el control del proceso de coagulación química de aguas. Se realiza, entre otros, con los siguientes propósitos:

- ✓ Selección del tipo de coagulación más efectivo.
- ✓ Determinación del pH óptimo de coagulación.
- ✓ Evaluación de la dosis óptima de coagulante.
- ✓ Determinación de las dosis de ayudas de coagulación.
- ✓ Determinación del orden más efectivo de adición de los diferentes productos químicos.
- ✓ Determinación de los niveles óptimos de mezcla, gradientes de velocidad y tiempos de mezcla.
- ✓ Evaluación de la necesidad de proveer floculación y sedimentación previa a la filtración o factibilidad de filtración directa.

Este ensayo es usado ampliamente; sus resultados tienen gran aplicabilidad en el diseño y la operación real de las unidades de tratamiento. El procedimiento requiere como datos previos mínimos los valores de pH, turbiedad, color y alcalinidad del agua cruda. La unidad de mezcla típica consiste en una serie de agitadores de paletas acoplados mecánicamente para operar a la misma velocidad, por lo general entre 10 y 100 rpm.

Como jarras de coagulación se han usado vasos de precipitación, generalmente de uno a dos litros, así como jarras rectangulares de dos litros en acrílico transparente.

#### *1.6.6.2. Parámetros y recomendaciones generales de diseño*

Los gradientes de velocidad que optimizan el proceso normalmente varían entre 70 y 20 s<sup>-1</sup>. En todo caso, en el primer tramo de la unidad el gradiente no debe ser mayor que el que se está produciendo en la interconexión entre el mezclador y el floculador.

- El gradiente de velocidad debe variar en forma uniformemente decreciente, desde que la masa de agua ingresa a la unidad hasta que sale.
- El tiempo de retención puede variar de 10 a 30 minutos, dependiendo del tipo de unidad y de la temperatura del agua. En las zonas tropicales, donde las aguas presentan temperaturas por encima de los 20°C, el tiempo de floculación necesario suele ser más breve, alrededor de 15 minutos. En cambio en los lugares fríos, donde el agua tiene temperaturas de 10 a 15°C, generalmente el proceso se optimiza con tiempos de retención iguales o superiores a 20 minutos.
- Para que el período de retención real de la unidad coincida con el diseño, ella debe tener el mayor número posibles de compartimientos o divisiones.
- El paso del mezclador al floculador debe ser instantáneo y deben evitarse los canales y las interconexiones largas.
- Pueden operar indefinidamente sin riesgos de interrupción, debido a que solo dependen de la energía hidráulica. Por esta razón, son muy confiables en su operación.

Para diseñar un floculador de flujo horizontal debemos tener en cuenta los siguientes parámetros:

- a) Distancia total recorrida del agua

(Ecuación 23)

$$L_c = V \times T \times 60$$

Donde:

$L_c$ : Distancia total recorrida del agua, (m).

T: Período de retención en cada tramo, (min).

V: Velocidad del fluido, (m/s).

- b) Área de los canales

(Ecuación 24)

$$A = \frac{Q}{V}$$

Donde:

A: Área de los canales, (m<sup>2</sup>).

Q: Caudal de diseño, (m<sup>3</sup>/s).

V: Velocidad del fluido, (m/s).

c) Ancho de los canales de floculación

(Ecuación 25)

$$a = \frac{A}{H}$$

Donde:

a: Ancho de los canales, (m).

A: Área de los canales, (m<sup>2</sup>).

H: Altura de agua en la unidad, (m).

d) Distancia entre borde del floculador y el tabique

(Ecuación 26)

$$d = 1,5 \times a$$

Donde:

d: Ancho de vueltas, (m).

a: Ancho de los canales, (m).

e) Ancho del floculador

(Ecuación 27)

$$B_F = 3 b + d$$

Donde:

B<sub>F</sub>: Ancho del floculador, (m).

b: Ancho útil de la lámina, (m).

d: Ancho de vueltas, (m).

f) Número de tabiques

(Ecuación 28)

$$N = \frac{L_c}{B_F}$$

Donde:

N: Número de canales, (unidades).

L<sub>c</sub>: Distancia total recorrida del agua, (m).

B<sub>F</sub>: Ancho del floculador, (m).

g) Longitud del floculador

(Ecuación 29)

$$L = (N \times a) + (N - 1)e$$

Donde:

L: Longitud del floculador, (m).

N: Número de canales, (unidades).

a: Ancho de los canales, (m).

e: Espesor de las láminas, (m).

h) Pérdida de carga en las vueltas

(Ecuación 30)

$$h_1 = \frac{K V^2 (N - 1)}{2g}$$

Donde:

$h_1$ : Pérdida de carga en las vueltas, (m).

V: Velocidad del fluido, (m/s).

N: Número de canales, (unidades).

g: Gravedad, ( $m^2/s$ ).

K: Coeficiente de pérdida de carga ( $K= 2-4$ ) (recomendable  $K= 3-3,5$ ).

i) Perímetro mojado de las secciones

(Ecuación 31)

$$Pm = 2H + a$$

Donde:

Pm: Perímetro mojado de las secciones, (m).

H: Altura de agua en la unidad, (m).

a: Ancho de los canales, (m).

j) Radio hidráulico en los canales

(Ecuación 32)

$$rh = \frac{A}{Pm}$$

Donde:

Rh: Radio hidráulico de canales, (m).

A: Área de los canales, ( $m^2$ ).

Pm: Perímetro mojado de las secciones, (m).

k) Pérdida de carga en los canales

(Ecuación 33)

$$h_2 = \left( \frac{n \times V}{r h^{2/3}} \right)^2 \times L$$

Donde:

$h_2$ : Pérdida de carga en los canales, (m).

n: Coeficiente de la fórmula de Manning (adim.).

l) Pérdida de carga total

(Ecuación 34)

$$hf = h_1 + h_2$$

Donde:

hf: Pérdida de carga total (m).

$h_1$ : Pérdida de carga en las vueltas, (m).

$h_2$ : Pérdida de carga en los canales (m).

m) Gradiente de velocidad

(Ecuación 35)

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} \times \sqrt{\frac{hf}{T}}$$

Donde:

G: Gradiente de velocidad, ( $s^{-1}$ ).

hf: Pérdida de carga total (m).

T: Tiempo de retención, (s).

$\sqrt{\gamma/\mu}$ : Relación peso específico y viscosidad absoluta. [Anexo A (1)].

### **1.6.7. Sedimentación**

La sedimentación es el proceso mediante el cual se promueve condiciones de reposo en la masa de agua floculada, para que se deposite el material en suspensión por acción de la gravedad.

La remoción de materiales en suspensión se obtiene al reducir la velocidad del agua, hasta lograr que las partículas en suspensión se depositen en determinado tiempo de retención. Este proceso se produce en los sedimentadores.

#### *1.6.7.1. Criterios de diseño*

- El período de diseño, teniendo en cuenta criterios económicos y técnicos es de 8 a 16 años.
- El número de unidades mínimas es de dos para efectos de mantenimiento.
- El período de operación es de 24 horas por día.
- La carga superficial será entre los valores de 2 - 10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día.
- La profundidad del sedimentador será entre 1,5 – 2,5 m.
- La relación de las dimensiones de largo y ancho (L/B) será entre los valores de 3 – 6.
- La relación de las dimensiones de largo y profundidad (L/H) será entre los valores de 5 – 20.
- El fondo de la unidad debe tener una pendiente entre 5 a 10 por ciento para facilitar el deslizamiento del sedimento.

#### *1.6.7.2. Descripción de un sedimentador de tasa alta o alta velocidad*

Consisten esencialmente en una serie de tubos (circulares, cuadrados o hexagonales) o láminas planas paralelas ubicadas en un tanque apropiado con un ángulo  $\theta$  de inclinación. Esto permite cargas superficiales entre 4 y 10 veces mayores que las usadas en sedimentadores horizontales, o sea, entre 120 y 300 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día. Los períodos de sedimentación son generalmente menores de 10 minutos. La ventaja de trabajar con velocidades de asentamiento de 0,14 – 0,42 cm/s está en que se obtiene un flujo mucho más estable que el que existe en los sedimentadores ordinarios, en los que la velocidad de asentamiento rara vez excede de 0,07 cm/s y generalmente es menor.



**Tabla 11- 1:** Especificaciones de los seditubos

Especificaciones de los seditubos
Material utilizado: ABS Acrilonitrilo Butadieno Estireno (poli estireno de alto impacto). Espesor de láminas: 1mm. Ángulo de los tubos: 60 grados. Tamaño de los tubos: Menor igual a 7,5 cm. Ancho: 90 cm. Largo: 1,2m. Alto: 100 cm. Sistema de fabricación: Termo formado y prensado Peso específico: 1,14

**Fuente:** <http://www.aguaquito.gob.ec/>

**Elaborado por:** Byron Arequipa, 2015

Para determinar el área de un sedimentador se debe tener en cuenta:

a) Área de sedimentación

(Ecuación 36)

$$CS = \frac{Q}{As}$$

Donde:

CS: Carga superficial ( $m^3/m^2/d$ )

Q: Caudal del diseño ( $m^3/s$ )

As: Área de sedimentación ( $m^2$ )

b) Velocidad promedio de flujo entre placas

(Ecuación 37)

$$v_o = \frac{Q}{As \times \text{Sen}\theta}$$

Donde:

$v_o$ : Velocidad promedio de flujo, (m/s).

As: Área de sedimentación ( $m^2$ )

Q: Caudal del diseño ( $m^3/s$ )

$\theta$ : Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa.

c) Velocidad de sedimentación crítica

(Ecuación 38)

$$v_{sc} = \frac{S_c \times v_o}{\text{Sen}\theta + (L_c \times \text{Cos}\theta)}$$

Donde:

$S_c$ : Valor crítico; para tubos circulares es  $4/3$ , para conductos cuadrados  $11/8$ , y para bandejas abiertas o láminas paralelas 1.

$L_c$ : Longitud relativa del sedimentador de alta tasa, en flujo laminar, corregida en la longitud de transición.

✓ Longitud relativa del sedimentador de alta tasa corregida en la longitud de transición

(Ecuación 39)

$$L_c = L - L'$$

✓ Longitud relativa del sedimentador de tasa alta

(Ecuación 40)

$$L = \frac{l}{e}$$

Donde:

$l$ : Altura del modulo de la placa (m).

$e$ : Ancho del conducto o espaciamiento entre placas (m).

✓ Longitud de transición

(Ecuación 41)

$$L' = 0,013 \times Re$$

Donde:

$Re$ : Número de Reynolds (adim).

d) Número de Reynolds

(Ecuación 42)

$$Re = \frac{v_o \times e}{\nu}$$

Donde:

$Re$ : Número de Reynolds.

$e$ : Ancho del conducto o espaciamiento entre placas (m).

$\nu$ : Viscosidad cinemática ( $m^2/s$ ).

$v_o$ : Velocidad promedio de flujo, (m/s).

Para que un sedimentador pueda trabajar con alta velocidad, es necesario que exista flujo laminar en las celdas, esto es, que  $N_{Re}$  sea menor que 500 y preferentemente menor que 250. Cualquier turbulencia podría crear arrastre de partículas y bajaría notablemente su eficiencia.

e) Tiempo de retención en las placas

(Ecuación 43)

$$t = \frac{l}{v_o}$$

Donde:

t: Tiempo de retención, (min).

$v_o$ : Velocidad promedio de flujo, (m/s).

f) Ancho del sedimentador

(Ecuación 44)

$$b_s = \sqrt{\frac{As}{5}}$$

Donde:

$b_s$ : Ancho del sedimentador (m).

$As$ : Área de sedimentación, ( $m^2$ )

g) Longitud del sedimentador

(Ecuación 45)

$$L_s = \frac{As}{b_s}$$

Donde:

$L_s$ : Longitud del sedimentador (m).

$As$ : Área de sedimentación, ( $m^2$ ).

h) Numero de placas por módulo

(Ecuación 46)

$$N = \frac{(L_s \times \text{Sen}\theta) + d}{d + ep}$$

Donde:

N: Número de placas por módulo

$L_s$ : Longitud del sedimentador (m).

d: Separación entre placas (m).

ep: Espesor de la placa (m).

i) Tiempo de retención en el tanque de sedimentación

(Ecuación 47)

$$T_s = \frac{V}{Q} = \frac{A_s \times H_s}{Q}$$

Donde:

Hs: Altura total (m). (Valor asumido)

T<sub>s</sub>: Tiempo de retención en el tanque de sedimentación (s).

j) Volumen del sedimentador

(Ecuación 48)

$$V_s = L_s \times b_s \times h$$

Donde:

V<sub>s</sub>: Volumen del sedimentador, (m<sup>3</sup>).

L<sub>s</sub>: Longitud del sedimentador, (m).

b<sub>s</sub>: Ancho del sedimentador, (m).

h: Altura del sedimentador, (m).

#### 1.6.7.3. Disposición de lodos

Los residuos de la coagulación química están constituidos, básicamente, por el lodo de los sedimentadores. El lodo está compuesto por los precipitados de aluminio o de hierro, provenientes del uso de alumbre o de sales de hierro como coagulante, así como por el material orgánico e inorgánico removido, arena, limo, arcilla, polímeros o ayudas de coagulación usados, y por el agua de arrastre utilizada para su transporte. Generalmente, los lodos de los sedimentadores de agua coagulada son estables, no se descomponen rápido ni causan problemas de septicidad.

(Ecuación 49)

$$S = 86,4Q(0,44Al + SS + A)$$

Donde:

S: Lodo producido, kg/día base seca

Q: Gasto de agua cruda, m<sup>3</sup>/s

Al: Dosis de alumbre en mg/l

SS: Sólidos suspendidos del agua cruda, mg/l

A: Productos químicos adicionales, mg/l

86,4: Factor de conversión

En vista que los lechos de secado son el método de secado de lodo más empleado, siendo las ventajas por su bajo costo, el escaso mantenimiento que precisan y el elevado contenido en sólidos del producto final. En los lechos de secado, la remoción de agua se realiza por los mismos mecanismos que en las lagunas, agregándose el drenaje gravitacional a través de arena, grava y tubería de recolección. Su diseño es igual a sus similares de aguas residuales, con profundidades de aplicación de 0,3 a 0,9 m. por lo general se construyen con un espesor de grava de 15 cm, 10 cm de arena y una tubería de desagüe.

#### ***1.6.8. Desinfección***

Para una operación exitosa del proceso de cloración requiere básicamente:

- ✓ Suministro adecuado y permanente del agente desinfectante.
- ✓ Control eficiente, continuo y exacto de la dosificación.
- ✓ Manejo seguro en todo momento del compuesto y de los equipos utilizados para su aplicación.
- ✓ Mezcla completa y continua del cloro con toda el agua a tratar.

El manejo y mantenimiento de cada instalación de cloración dependerá del equipo utilizados y deberá hacerse de conformidad con los manuales de operación y mantenimiento de cada fabricante.

## CAPITULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Metodología

##### 2.1.1. Localización de la investigación

La Planta de Tratamiento de Agua Potable del Sector Yawari del Cantón Archidona está ubicada a 1.40Km de la ciudad en la vía a Quito, en las coordenadas E:888787.8, N:9901814.6 en la cota 625.967 m.s.n.m., que es el punto de ingreso del agua al sistema de tratamiento.



**Figura 1- 2:** Planta de tratamiento de agua potable  
Fuente: Google maps, 2015

##### 2.1.2. Método de recolección de la información

Para la medición del caudal del sistema de potabilización se lo realizó in situ y de igual manera la toma de muestras a fin de recopilar información para el presente proyecto. Además se aplicó diversos métodos como: el método inductivo, deductivo y experimental, ya que es necesario conocer los hechos más importantes que se dan en el sistema de tratamiento del agua, para poder llegar a un adecuado y óptimo diseño de tratamiento.

#### 2.1.2.1. *Método inductivo*

El método inductivo es aquel método que obtiene conclusiones generales a partir de premisas particulares, lo que posibilitará conocer la cantidad de agentes contaminantes que contiene el agua de la vertiente hidrográfica que abastece la planta de tratamiento de agua potable del Sector Yawari del Cantón Archidona, que permitirá abstraer conclusiones claras y concretas.

Esto se obtendrá con un análisis minucioso con las muestras del agua que se tomen en el lugar de estudio para posteriormente conocer su respectiva caracterización.

#### 2.1.2.2. *Método deductivo*

Son aquellos trabajos donde muestra preocupación, se centra en determinar los orígenes o las causas de un determinado conjunto de fenómenos, por lo que se partirá de conocimientos generales y actualizados de la planta de tratamiento para encontrar soluciones al problema de la calidad del agua que distribuye la planta de tratamiento de agua.

#### 2.1.2.3. *Método experimental*

El método experimental es un procedimiento que permite llegar a la verdad objetiva de los fenómenos. Mediante este método se realizará las pruebas de jarras el cual nos asegurará o afirmará el correcto funcionamiento del tratamiento que se va a aplicar para que el agua sea adecuada para el consumo. Se dejará proponiendo el diseño de la planta, con los respectivos procesos de tratamiento.

#### 2.1.3. *Muestreo*

Durante la recolección de las muestras de agua se aplicó diversos tipos de muestreo como: **muestreo simple** el cual nos proporciona información sobre la calidad en un punto y momento dado y se lo empleó durante la toma de muestra en la vertiente y el **muestreo compuesto** la cual está formada por un conjunto de dos o más submuestras obtenidas a diversos intervalos de tiempo o espacio del efluente y se lo empleó específicamente en la planta de tratamiento a fin de proporcionarnos información sobre la calidad del agua en diferentes períodos determinados.

El procedimiento fue de la siguiente manera:

**Tabla 1- 2:** Recolección de muestra

Lugar de muestreo	Total de muestras semanal	Total de muestras al mes	Total de muestras analizadas
Agua de la vertiente	1	1	1
Agua al ingreso de la planta de tratamiento	2	10	10
Agua a la salida de la planta de tratamiento	2	10	10

**Elaborado por:** Byron Arequipa, 2015

Las muestras de agua fueron tomadas por las mañanas del sistema de tratamiento dos veces a la semana las mismas que fueron trasladadas al laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, en donde se procedió a realizar las caracterizaciones físico-químicos del agua y las respectivas pruebas de jarras a fin de determinar la dosificación adecuada para tratar el agua utilizando el químico que mejor actúe (policloruro de aluminio o sulfato de aluminio), de igual forma se realizó los análisis microbiológicos.

#### **2.1.4. Tratamiento de muestras**

Se tomó dos muestras semanales en diferentes épocas tanto en invierno como en verano a las que se les realizó la caracterización físico-química del agua que consta de 19 parámetros y son; **Parámetros físicos:** color, turbiedad, pH, temperatura, sólidos totales disueltos. **Parámetros químicos:** dureza, calcio, cloruros, alcalinidad, hierro, fosfatos, nitritos, nitratos, fluoruros, sulfatos, amonios, sólidos totales. Además se realizó los **análisis microbiológicos** de Coliformes Fecales y Coliformes Totales a cada muestra y las respectivas **pruebas de tratabilidad** al agua de entrada a la planta de tratamiento, mediante las denominadas pruebas de jarras.

Finalmente con los datos obtenidos durante la caracterización del agua, se relacionó todos los datos con la Norma INEN 1108:2014 a través del método comparativo, permitiéndonos de este modo identificar los parámetros fuera de norma y el respectivo dimensionamiento de la planta.



### 2.1.5. Equipos, materiales y reactivos

**Tabla 2- 2:** Equipos, Materiales y Reactivos

EQUIPOS	MATERIALES	REACTIVOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Balanza Analítica</li> <li>- Baño María</li> <li>- Equipo de Filtración por Membrana</li> <li>- Estufa</li> <li>- Espectrofotómetro HACH DR 2800</li> <li>- Conductímetro</li> <li>- pH-metro</li> <li>- Colorímetro HACH DR 2800</li> <li>- Turbidímetro</li> <li>- Incubadora</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Matraz Erlenmeyer</li> <li>- Pipetas</li> <li>- Peras de Succión</li> <li>- Vaso de Precipitación</li> <li>- Pipetas Volumétricas</li> <li>- Varilla de Vidrio</li> <li>- Caja Petri</li> <li>- Bureta</li> <li>- Pizeta</li> <li>- Probeta</li> <li>- Pinzas Doble para Buretas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Solución EDTA 0,02M</li> <li>- Ácido Sulfúrico 0,02 N</li> <li>- Hidróxido de sodio 1N</li> <li>- Indicador Negro de Eriocromo T</li> <li>- Indicador Murexida</li> <li>- Cromato de Potasio</li> <li>- Naranja de Metilo</li> <li>- Cianuro de Potasio</li> <li>- Nitrato de Plata 0,01 N</li> <li>- Solución Buffer pH 10</li> <li>- Reactivos HACH</li> <li>- Agua Destilada</li> <li>- Ampollasm-ColiBlue24®Broth</li> <li>- Ampollas m-Endo®Broth</li> </ul>

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

### 2.1.6. Métodos y técnicas

#### 2.1.6.1. Métodos

**Tabla 3- 2:** Métodos de análisis de aguas

PARÁMETROS	MÉTODOS	DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA
Ph	Potenciométrico	Se utiliza el electrodo de cristal, y se registra el valor obtenido.
Turbiedad	Nefelométrico	Utilizar el Turbidímetro para el análisis
Conductividad	Electrométrico	Se utiliza el electrodo de cristal, y se registra el valor obtenido.
Sólidos totales	Gravimetría	Pesar una caja Petri, colocar 25ml de muestra, someter a baño María hasta sequedad, introducir en la estufa, colocar en el desecador 15min., pesar la caja.
Sólidos totales disueltos	Electrométrico	Se utiliza el electrodo de cristal, del conductímetro, y se registra su valor.

**Tabla 3-2:** Continuación

Color	Comparativo/Espectrofotométrico	Realizar un blanco con agua destilada, tomar 10 ml de la muestra en la celda Hach, colocar en el espectrofotómetro Hach y medir
Alcalinidad	Volumétrico	Tomar 25 ml de muestra + 2 gotas de anaranjado de metilo, valorar con ácido sulfúrico 0.02 N
Dureza	Volumétrico	Tomar 25 ml de muestra + 1 ml de buffer de dureza + una porción de negro de eriocromo T en polvo, valoramos con EDTA (0.02M) de rojo a azul.
Calcio	Volumétrico	Tomar 25 ml de muestra + 1 ml de KCN + 1 ml de NaOH (1N) + pizca de indicador Murexida. Titular con EDTA (0.02 M). De rosado a lila
Magnesio	Cálculo	Diferencia entre la dureza total y el contenido de calcio en forma de carbonato de calcio.
Hierro Nitratos Cloruros Fosfatos Nitritos Sulfatos Nitratos Amonios Fluoruros	Espectrofotométrico	Tomar 10 ml de muestra, colocar los reactivos indicados en el manual y registrar los resultados obtenidos.
Coliformes totales/ Coliformes Fecales	Sembrado	Luego de esterilizar el equipo microbiológico de filtración por membranas, se siembra y se toma la lectura a las 24 horas, se realiza el conteo de las colonias si existe.

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

### 2.1.6.2. Técnicas

Para la medición del caudal de la planta de potabilización se realizó mediante el método flotador.

#### 2.1.6.2.1. Caudal

**Tabla 4- 2:** Medición de caudal

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
Se define como el volumen del líquido que pasa por una sección normal de una corriente de agua en unidad de tiempo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Cronómetro</li> <li>✓ Cinta métrica</li> <li>✓ Objeto flotador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Seleccionar un tramo A y B, recto del curso de río.</li> <li>✓ Medir el tiempo que tarda en recorrer el flotador del tramo A-B.</li> <li>✓ Determinar el ancho y las profundidades del río.</li> <li>✓ Realizar los cálculos respectivos.</li> </ul>

**Fuente:** STANDARD METHODS, edición 17

**Elaborado por:** Byron Arequipa, 2015

Las técnicas a emplear para los análisis en el laboratorio se basan al manual “Standard Methods for Examination of Water and Wastewater” (Métodos Normalizados para el Análisis de Agua Potable y Residuales); y el Manual de Análisis de Agua, método HACH.

#### 2.1.6.2.2. Potencial de hidrógeno pH

**Tabla 5- 2:** STANDARD METHODS \*4500 HB

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
El pH es un indicador de la acidez o alcalinidad del agua, tiene un rango de 1 a 14. Si el agua tiene un pH menor a 7 se dice que es ácida, mayor a 7, básica y un valor igual a 7 es neutra.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ pH metro</li> <li>✓ Vaso de precipitación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Lavar el electrodo del pH metro con agua destilada y calibrar el equipo con las soluciones Buffer pH 4, pH 7 y pH 10.</li> <li>✓ Colocar el electrodo en el interior del vaso de precipitación que contiene la muestra.</li> <li>✓ Tomar la lectura.</li> </ul>

**Fuente:** STANDARD METHODS, edición 17

**Elaborado por:** Byron Arequipa, 2015

#### 2.1.6.2.3. Conductividad

**Tabla 6- 2:** STANDARD METHODS \*2510

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
Es la capacidad que tiene una solución acuosa para conducir corriente eléctrica. Está relacionada con la cantidad de sólidos totales disueltos presentes en el agua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Conductímetro</li> <li>✓ Vaso de precipitación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Colocar la muestra en el vaso de precipitación.</li> <li>✓ Colocar el electrodo del conductímetro en el vaso de precipitación que contiene la muestra.</li> <li>✓ Tomar la lectura.</li> </ul>

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

#### 2.1.6.2.4. Turbidez

**Tabla 7- 2:** STANDARD METHODS \*2130 B

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
El método se basa en una comparación de la intensidad de la luz dispersada por una muestra en condiciones definidas, con la intensidad de la luz dispersada por una suspensión patrón de referencia en las mismas condiciones. Cuanto mayor sea la intensidad de la luz dispersada, mayor será la turbidez.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Turbidímetro</li> <li>✓ Celda para turbidímetro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Colocar agua destilada en la celda para calibrar el equipo.</li> <li>✓ Colocar la muestra en la celda</li> <li>✓ Tomar la lectura.</li> </ul>

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

Elaborado por: Byron Arequipa, 2105

#### 2.1.6.2.5. Sólidos Totales Disueltos

**Tabla 8- 2:** MÉTODO HACH\*

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
Los sólidos totales disueltos es la cantidad de materia disuelta en un volumen de agua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Electrodo sensible de Hach</li> <li>✓ Vaso de precipitación</li> <li>✓ Muestra problema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Colocar la muestra en el vaso de precipitación.</li> <li>✓ Colocar el electrodo para sólidos totales disueltos en el vaso de precipitación que contiene la muestra.</li> <li>✓ Tomar la lectura.</li> </ul>

Fuente: \*HACH MODEL DR/4000V

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

#### 2.1.6.2.6. Color

**Tabla 9- 2: MÉTODO HACH \*2800**

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
<p>EL color del agua se debe al contacto con desechos orgánicos, sólidos en suspensión, presencia de taninos y residuos industriales.</p> <p>El color verdadero es el color de la muestra una vez que se ha removido la turbidez, y el color aparente es el que incluye no solamente el color de las sustancias en solución y coloidales, sino también el color debido al material suspendido.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Equipo Hach</li> <li>✓ Celdas de la Hach</li> <li>✓ Pipeta</li> <li>✓ Agua destilada</li> <li>✓ Muestra problema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Colocar 10 ml de agua destilada en una celda y encerrar el equipo.</li> <li>✓ Colocar 10 ml de la muestra en una celda.</li> <li>✓ Colocar la celda en el equipo</li> <li>✓ Tomar la lectura que indica en el equipo.</li> </ul>

**Fuente:** \*HACH DR 2800, Model Series

**Elaborado por:** Byron Arequipa, 2105

#### 2.1.6.2.7. Sólidos Totales

**Tabla 10- 2: STANDARD METHODS \*2540**

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
<p>Los sólidos totales se definen como el material que queda en el recipiente después de la evaporación de la muestra y su posterior secado en un horno a una temperatura definida.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Caja Petri tarada</li> <li>✓ Baño María</li> <li>✓ Estufa</li> <li>✓ Desecador</li> <li>✓ Balanza Analítica</li> <li>✓ Muestra problema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Pesar la caja petri vacía</li> <li>✓ Colocar 25 ml de muestra en la caja petri.</li> <li>✓ Someter a baño María hasta sequedad</li> <li>✓ Secar en la estufa, enfriar y pesar.</li> </ul>

**Fuente:** STANDARD METHODS, edición 17

**Elaborado por:** Byron Arequipa, 2015

#### 2.1.6.2.8. Cloruros

**Tabla 11- 2:** STANDARD METHODS \*4500 Cl B

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
Los cloruros se pueden determinar en una solución neutra ligeramente alcalina mediante una titulación con nitrato de plata, usando como indicador cromato de potasio.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Erlenmeyer</li> <li>✓ Bureta</li> <li>✓ Pipeta volumétrica</li> <li>✓ AgNO<sub>3</sub> 0,01 N</li> <li>✓ Indicador K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Colocar 25 ml de muestra en el Erlenmeyer</li> <li>✓ Agregar 4 gotas de K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>.</li> <li>✓ Titular con AgNO<sub>3</sub> hasta que dé un viraje de amarillo a ladrillo.</li> </ul>

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

#### 2.1.6.2.9. Dureza

**Tabla 12- 2:** STANDARD METHODS \*2340 B Y C

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
<p>La dureza se define como la suma de las concentraciones de calcio y magnesio presentes en el agua como carbonato de calcio y de magnesio, en miligramos por litro.</p> <p>Para la determinación de la dureza se utiliza el método complexométrico en el cual se emplea la sal sódica del ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) como agente complejante; formando complejos estables con los metales Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Erlenmeyer</li> <li>✓ Bureta</li> <li>✓ Pipeta volumétrica</li> <li>✓ EDTA 0,02 M</li> <li>✓ Solución Buffer pH 10</li> <li>✓ KCN</li> <li>✓ Negro de Eriocromo T.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Colocar 25 ml de muestra en el Erlenmeyer.</li> <li>✓ Agregar 2 ml de solución Buffer pH 10.</li> <li>✓ Agregar 1 ml de KCN.</li> <li>✓ Añadir el indicador Negro de Eriocromo T.</li> <li>✓ Titular con EDTA hasta que se dé un viraje de rojo a azul.</li> </ul>

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

#### 2.1.6.2.10. Calcio

**Tabla 13- 2:** STANDARD METHODS \*3500 Ca

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
Las sales de calcio contribuyen a la dureza total del agua. La cantidad de calcio se puede determinar directamente mediante una valoración con EDTA 0,02M.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Erlenmeyer</li> <li>✓ Bureta</li> <li>✓ Pipeta volumétrica</li> <li>✓ EDTA 0,02 M</li> <li>✓ KCN</li> <li>✓ NaOH 1 N</li> <li>✓ Indicador Murexida</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Colocar 25 ml de muestra en el Erlenmeyer.</li> <li>✓ Agregar 1 ml de KCN.</li> <li>✓ Agregar 1 ml de NaOH.</li> <li>✓ Añadir el indicador Murexida.</li> <li>✓ Titular con EDTA hasta que dé un viraje de rosado a lila.</li> </ul>

**Fuente:** STANDARD METHODS, edición 17

**Elaborado por:** Byron Arequipa, 2015

#### 2.1.6.2.11. Alcalinidad

**Tabla 14- 2:** STANDARD METHODS \*2320 B

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
La alcalinidad del agua es la capacidad para neutralizar ácidos y constituye la suma de todas las bases titulables, el valor medio puede variar con el pH. La alcalinidad se debe al contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Erlenmeyer</li> <li>✓ Bureta</li> <li>✓ Pipeta volumétrica</li> <li>✓ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 N</li> <li>✓ Indicador Fenolftaleína</li> <li>✓ Indicador Naranja de Metilo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Colocar 25 ml de muestra en el Erlenmeyer</li> <li>✓ Agregar 4 gotas de fenolftaleína</li> <li>✓ Titular con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> hasta que dé un viraje de rosado a incoloro</li> <li>✓ Agregar 3 gotas de naranja de metilo.</li> <li>✓ Titular con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> hasta que dé un viraje de naranja a rosado.</li> </ul>

**Fuente:** STANDARD METHODS, edición 17

**Elaborado por:** Byron Arequipa, 2015

#### 2.1.6.2.12. Aluminio

**Tabla 15- 2: MÉTODO HACH \*2800**

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
<p>El aluminio es un componente natural de las aguas superficiales y subterráneas.</p> <p>Todas las aguas contienen aluminio. En aguas neutras está presente como compuestos insolubles, y en aguas altamente ácidas o alcalinas se puede presentar en solución.</p> <p>El aluminio es anfótero y puede reaccionar con ácidos minerales para formar sales insolubles con desprendimiento de hidrógeno.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Equipo Hach</li> <li>✓ Celdas de la Hach</li> <li>✓ Tubo mezclador graduado de 50 ml con tapón</li> <li>✓ Agua destilada</li> <li>✓ Reactivo Aluminio Aluver3</li> <li>✓ Reactivo Ácido Ascórbico</li> <li>✓ Reactivo Bleaching3</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Llenar el tubo mezclador con 50 ml de la muestra</li> <li>✓ Añadir el contenido de un sobre de Ácido Ascórbico, tapar el tubo e invertir hasta disolver el polvo</li> <li>✓ Añadir el contenido de un sobre de Aluver3, invertir el tubo durante un minuto para disolver el polvo</li> <li>✓ Para preparar el blanco: llenar la cubeta cuadrada hasta la marca con la mezcla preparada</li> <li>✓ Añadir un sobre de Bleaching3 y disolver, dejar reaccionar 15 min</li> <li>✓ Tomar la lectura que indica en el equipo.</li> </ul>

Fuente: \*HACH DR 2800, Model Series

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

#### 2.1.6.2.13. Sulfatos

**Tabla 16- 2: MÉTODO HACH \*2800**

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
<p>Son un componente natural de las aguas superficiales y por lo general en ellas no se encuentran en concentraciones que puedan afectar su calidad. Los sulfatos de calcio y magnesio contribuyen a la dureza permanente. Un alto contenido de sulfatos puede proporcionar sabor al agua y podría tener un efecto laxante. Cuando el sulfato se encuentra en concentraciones excesivas en el agua ácida, le confiere propiedades corrosivas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Equipo Hach</li> <li>✓ Celdas Hach</li> <li>✓ Pipeta</li> <li>✓ Agua destilada</li> <li>✓ Reactivo SulfaVer4</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Colocar 10 ml de agua destilada en una celda y encerar el equipo.</li> <li>✓ Colocar 10 ml de la muestra en una celda y añadir un sobre de reactivo SufaVer4.</li> <li>✓ Dejar reaccionar durante 5 min.</li> <li>✓ Tomar la lectura que indica en el equipo.</li> </ul>

Fuente: \*HACH DR 2800, Model Series

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015



#### 2.1.6.2.14. Amonio Silicato

**Tabla 17- 2: MÉTODO HACH \*2800**

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
<p>El amonio es uno de los componentes transitorios en el agua puesto que es parte del ciclo del nitrógeno y se ve influido por la actividad biológica. Es el producto natural de descomposición de los compuestos orgánicos nitrogenados. En el agua puede aparecer en forma molecular o como ion amonio, dependiendo del pH. La presencia de amoniaco libre o ion amonio es considerado como una prueba química de contaminación reciente y peligrosa. Si el medio es aerobio, el nitrógeno amoniacal se transforma en nitritos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Equipo Hach</li> <li>✓ Celdas de la Hach</li> <li>✓ Pipeta</li> <li>✓ Agua destilada</li> <li>✓ Reactivo Ammonia Silicylate Reagenl</li> <li>✓ Reactivo Ammonia Cyanurate Reagenl</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Colocar 10 ml de agua destilada en una celda y 10 ml de la muestra en la otra celda</li> <li>✓ Añadir un sobre Ammonia Silicylate Reagenl en cada celda y dejar reaccionar por 3 min</li> <li>✓ Después añadir un sobre Ammonia Cyanurate Reagenl y dejar reaccionar durante 15 min</li> <li>✓ Colocar la celda en el equipo</li> <li>✓ Tomar la lectura que indica en el equipo.</li> </ul>

**Fuente:** \*HACH DR 2800, Model Series

**Elaborado por:** Byron Arequipa, 2015

#### 2.1.6.2.15. Nitratos

**Tabla 18- 2: MÉTODO HACH \*2800**

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
<p>Los niveles de nitratos en aguas subterráneas y superficiales son unos pocos miligramos por litro.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Equipo Hach</li> <li>✓ Celdas Hach</li> <li>✓ Pipeta</li> <li>✓ Agua destilada</li> <li>✓ Reactivo NitraVer5</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Colocar 10 ml de agua destilada en una celda y encerrar el equipo.</li> <li>✓ Colocar 10 ml de la muestra en una celda y añadir un sobre de reactivo NitraVer5.</li> <li>✓ Agitar por 3 min, luego dejar en reposo durante 2 min, inmediatamente agitar durante 30 s, y por último dejar reaccionar durante 15 min.</li> <li>✓ Tomar la lectura que indica en el equipo.</li> </ul>

**Fuente:** \*HACH DR 2800, Model Series

**Elaborado por:** Byron Arequipa, 2015

#### 2.1.6.2.16. Nitritos

**Tabla 19- 2: MÉTODO HACH \*2800**

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
<p>Los nitritos (sales de ácido nitroso, <math>\text{HNO}_2</math>) son solubles en agua. Se transforman naturalmente a partir de los nitratos, ya sea por oxidación bacteriana incompleta del nitrógeno en los sistemas acuáticos y terrestres o por reducción bacteriana.</p> <p>El uso excesivo de fertilizantes nitrogenados, pueden contribuir a elevar la concentración de nitritos en agua.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Equipo Hach</li> <li>✓ Celdas Hach</li> <li>✓ Pipeta</li> <li>✓ Agua destilada</li> <li>✓ Reactivo NitriVer3</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Colocar 10 ml de agua destilada en una celda y encerrar el equipo.</li> <li>✓ Colocar 10 ml de la muestra en una celda y añadir un sobre de reactivo NitriVer3.</li> <li>✓ Dejar reaccionar durante 20 min.</li> <li>✓ Tomar la lectura que indica en el equipo.</li> </ul>

**Fuente:** \*HACH DR 2800, Model Series

**Elaborado por:** Byron Arequipa, 2015

#### 2.1.6.2.17. Fosfatos

**Tabla 20- 2: MÉTODO HACH \*2800**

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
<p>Es común encontrar fosfatos en el agua. Son nutrientes de la vida acuática y limitante del crecimiento de las plantas, su presencia está asociada con la eutrofización de las aguas, con problemas de crecimiento de algas indeseables en embalses y lagos, con acumulación de sedimentos, etc.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Equipo Hach</li> <li>✓ Celdas Hach</li> <li>✓ Pipeta</li> <li>✓ Agua destilada</li> <li>✓ Reactivo PhosVer3</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Colocar 10 ml de agua destilada en una celda y encerrar el equipo.</li> <li>✓ Colocar 10 ml de la muestra en una celda y añadir un sobre de reactivo PhosVer3.</li> <li>✓ Dejar reaccionar durante 2 min.</li> <li>✓ Tomar la lectura que indica en el equipo.</li> </ul>

**Fuente:** \*HACH DR 2800, Model Series

**Elaborado por:** Byron Arequipa, 2015

#### 2.1.6.2.18. Fluoruro

**Tabla 21- 2: MÉTODO HACH \*2800**

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
Elemento esencial para la nutrición del hombre. Su presencia en el agua de consumo a concentraciones adecuadas combate la formación de caries dental, principalmente en los niños, si la concentración del fluoruro en el agua es alta podría generar manchas en los dientes y dañar la estructura ósea.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Equipo Hach</li> <li>✓ Celdas de la Hach</li> <li>✓ Pipeta</li> <li>✓ Agua destilada</li> <li>✓ Solución de reactivo SPANDS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Colocar 10 ml de agua destilada en una celda y 10 ml de la muestra en una celda</li> <li>✓ Después añadir 2 ml de solución de reactivo SPANDS en cada celda y esperar 1 min</li> <li>✓ Colocar la celda en el equipo</li> <li>✓ Tomar la lectura que indica en el equipo.</li> </ul>

**Fuente:** \*HACH DR 2800, Model Series

**Elaborado por:** Byron Arequipa, 2015

#### 2.1.6.2.19. Hierro

**Tabla 22- 2: MÉTODO HACH \*2800**

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
El hierro se encuentra principalmente en aguas subterráneas, en cantidades apreciables, está presente como $Fe^{2+}$ creando problemas en suministros de agua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Equipo Hach</li> <li>✓ Celdas de la Hach</li> <li>✓ Pipeta</li> <li>✓ Agua destilada</li> <li>✓ Reactivo FerroVer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Colocar 10 ml de agua destilada en una celda y encerrar el equipo.</li> <li>✓ Colocar 10 ml de la muestra en una celda y añadir un sobre de reactivo de FerroVer en polvo.</li> <li>✓ Colocar la celda en el equipo</li> <li>✓ Tomar la lectura que indica en el equipo.</li> </ul>

**Fuente:** \*HACH DR 2800, Model Series

**Elaborado por:** Byron Arequipa, 2015

#### 2.1.6.2.20. Contaminación Microbiológica

**Tabla 23- 2: STANDARD METHODS**

FUNDAMENTO	ENSAYO	STANDARD METHODS
Coliformes totales	Filtración por membranas. Sembrado	PEE/M-01
Coliformes fecales	Filtración por membranas. Sembrado	PEE/M-01

**Fuente:** STANDARD METHODS, edición 17

**Elaborado por:** Byron Arequipa, 2015

## 2.2. Datos experimentales

Para la caracterización físico- químico del agua los límites están basados de acuerdo a las normas INEN 1108:2014.

### 2.2.1. Caracterización del agua de la vertiente del Río Calmituyacu

**Tabla 24- 2:** Caracterización Físico-Químico del agua de la vertiente

<b>Determinaciones</b>	<b>Unidades</b>	<b>Límites</b>	<b>Resultados</b>
<i>Color</i>	<i>und Co/Pt</i>	15	19,00
<i>pH</i>	<i>Unid</i>	6.5 - 8.5	5,80
<i>Conductividad</i>	<i>μSiems/cm</i>	< 1250	43
<i>Turbiedad</i>	<i>UNT</i>	5	3,7
<i>Cloruros</i>	<i>mg/L</i>	250	2,8
<i>Dureza</i>	<i>mg/L</i>	200	16,0
<i>Calcio</i>	<i>mg/L</i>	70	4,8
<i>Magnesio</i>	<i>mg/L</i>	30 - 50	1,0
<i>Alcalinidad</i>	<i>mg/L</i>	250 - 300	40,0
<i>Bicarbonatos</i>	<i>mg/L</i>	250 - 300	40,8
<i>Sulfatos</i>	<i>mg/L</i>	200	32,0
<i>Amonios</i>	<i>mg/L</i>	< 0.50	0,100
<i>Nitritos</i>	<i>mg/L</i>	3	0,009
<i>Nitratos</i>	<i>mg/L</i>	50	0,01
<i>Hierro</i>	<i>mg/L</i>	0.30	0,100
<i>Fluoruros</i>	<i>mg/L</i>	1,5	0,260
<i>Fosfatos</i>	<i>mg/L</i>	< 0.30	0,180
<i>Sólidos Totales</i>	<i>mg/L</i>	1000	36,0
<i>Sólidos Disueltos</i>	<i>mg/L</i>	500	22,6
<i>Parámetros fuera de norma</i>			

**Fuente:** Laboratorio de Análisis Técnicos

**Elaborado por:** Byron Arequipa, 2015

## 2.2.2. Caracterización del agua de entrada y salida de la planta de tratamiento

**Tabla 25- 2:** Caracterización Físico-Químico (Semana 1)

Determinaciones	Unidades	Límites	Resultados			
			Muestra 1		Muestra 2	
			Entrada	Salida	Entrada	Salida
Color	und Co/Pt	15	20,00	14,00	21,00	12,00
pH	Unid	6.5 - 8.5	6,24	6,56	6,35	9,00
Conductividad	$\mu\text{Siems/cm}$	< 1250	35	44	40	186
Turbiedad	UNT	5	2,9	2,3	3,0	1,9
Cloruros	mg/L	250	5,7	3,5	5,7	5,7
Dureza	mg/L	200	20,0	20,0	16,0	64,0
Calcio	mg/L	70	6,4	4,8	4,8	9,6
Magnesio	mg/L	30 - 50	1,0	1,9	1,0	9,7
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	20,0	20,0	40,0	80,0
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	20,4	20,4	40,8	81,6
Sulfatos	mg/L	200	12,0	9,0	10,0	10,0
Amonios	mg/L	< 0.50	0,030	0,020	0,010	0,010
Nitritos	mg/L	3	0,009	0,006	0,005	0,196
Nitratos	mg/L	50	0,01	0,01	0,01	0,15
Hierro	mg/L	0.30	0,060	0,280	0,090	0,150
Fluoruros	mg/L	1,5	0,130	0,040	0,150	0,070
Fosfatos	mg/L	< 0.30	0,160	0,140	0,140	0,190
Sólidos Disueltos	mg/L	500	19,5	21,4	20,6	99,0

Parámetros fuera de norma

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

**Tabla 26- 2:** Resultados Microbiológicos (Semana 1)

Parámetros	Unidad	Límites	Resultados			
			Muestra 1		Muestra 2	
			Entrada	Salida	Entrada	Salida
Coliformes Totales	UFC/100mL	< 1	315	Ausencia	--	Ausencia
Coliformes Fecales	UFC/100mL	< 1	10	Ausencia	--	Ausencia

Parámetros fuera de norma

Fuente: Laboratorio SAQMIC

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

**Tabla 27- 2:** Caracterización Físico-Químico (Semana 2)

Determinaciones	Unidades	Límites	Resultados	
			Entrada	Salida
<i>Color</i>	<i>und Co/Pt</i>	15	1738,00	4383,00
<i>pH</i>	<i>Unid</i>	6.5 - 8.5	6,76	6,44
<i>Conductividad</i>	<i>μSiems/cm</i>	< 1250	40	34
<i>Turbiedad</i>	<i>UNT</i>	5	360,0	1050,0
<i>Cloruros</i>	<i>mg/L</i>	250	5,7	2,8
<i>Dureza</i>	<i>mg/L</i>	200	24,0	24,0
<i>Calcio</i>	<i>mg/L</i>	70	6,4	8,0
<i>Magnesio</i>	<i>mg/L</i>	30 – 50	1,9	1,0
<i>Alcalinidad</i>	<i>mg/L</i>	250 – 300	40,0	40,0
<i>Bicarbonatos</i>	<i>mg/L</i>	250 – 300	40,8	40,8
<i>Sulfatos</i>	<i>mg/L</i>	200	48	114,0
<i>Amonios</i>	<i>mg/L</i>	< 0.50	0,410	0,450
<i>Nitritos</i>	<i>mg/L</i>	3	0,169	0,422
<i>Nitratos</i>	<i>mg/L</i>	50	0,05	0,03
<i>Hierro</i>	<i>mg/L</i>	0.30	1,820	2,030
<i>Fluoruros</i>	<i>mg/L</i>	1,5	-1,170	-2,140
<i>Fosfatos</i>	<i>mg/L</i>	< 0.30	1,350	1,930
<i>Sólidos Disueltos</i>	<i>mg/L</i>	500	21,3	17,3
Parámetros fuera de norma				

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

**Tabla 28- 2:** Resultados Microbiológicos (Semana 2)

Parámetros	Unidad	Límites	Resultados	
			Entrada	Salida
Coliformes Totales	UFC/100mL	< 1	469	1220
Coliformes Fecales	UFC/100mL	< 1	89	430
Parámetros fuera de norma				

Fuente: Laboratorio SAQMIC

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

**Tabla 29- 2:** Caracterización Físico-Químico (Semana 3)

Determinaciones	Unidades	Límites	Resultados			
			Muestra 1		Muestra 2	
			Entrada	Salida	Entrada	Salida
<i>Color</i>	<i>und Co/Pt</i>	15	43,00	46,00	576,00	520,00
<i>pH</i>	<i>Unid</i>	6.5 - 8.5	6,48	6,65	6,24	6,95
<i>Conductividad</i>	<i>μSiems/cm</i>	< 1250	53	47	28	54
<i>Turbiedad</i>	<i>UNT</i>	5	14,8	12,7	121,1	82,4
<i>Cloruros</i>	<i>mg/L</i>	250	5,7	3,5	2,1	2,8
<i>Dureza</i>	<i>mg/L</i>	200	24,0	16,0	20,0	24,0
<i>Calcio</i>	<i>mg/L</i>	70	8,0	6,4	6,4	6,4
<i>Magnesio</i>	<i>mg/L</i>	30 - 50	1,0	0,0	1,0	1,9
<i>Alcalinidad</i>	<i>mg/L</i>	250 - 300	70,0	40,0	30,0	20,0
<i>Bicarbonatos</i>	<i>mg/L</i>	250 - 300	71,4	40,8	30,6	20,4
<i>Sulfatos</i>	<i>mg/L</i>	200	9,0	10,0	22,0	19,0
<i>Amonios</i>	<i>mg/L</i>	< 0.50	0,030	0,140	0,060	0,070
<i>Nitritos</i>	<i>mg/L</i>	3	0,006	0,007	0,051	0,052
<i>Nitratos</i>	<i>mg/L</i>	50	0,00	0,00	0,02	0,04
<i>Hierro</i>	<i>mg/L</i>	0.30	0,140	0,170	1,360	1,060
<i>Fluoruros</i>	<i>mg/L</i>	1,5	-0,430	-0,430	-0,590	-0,640
<i>Fosfatos</i>	<i>mg/L</i>	< 0.30	0,140	0,260	0,520	0,500
<i>Sólidos Disueltos</i>	<i>mg/L</i>	500	28,0	24,6	16,2	29,0
Parámetros fuera de norma						

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

**Tabla 30- 2:** Resultados Microbiológicos (Semana 3)

Parámetros	Unidad	Límites	Resultados	
			Entrada	Salida
Coliformes Totales	UFC/100mL	< 1	592	770
Coliformes Fecales	UFC/100mL	< 1	296	Ausencia
Parámetros fuera de norma				

Fuente: Laboratorio SAQMIC

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

**Tabla 31- 2:** Caracterización Físico-Químico (Semana 4)

Determinaciones	Unidades	Límites	Resultados			
			Muestra 1		Muestra 2	
			Entrada	Salida	Entrada	Salida
<i>Color</i>	<i>und Co/Pt</i>	15	189,00	66,00	32,00	15,00
<i>pH</i>	<i>Unid</i>	6.5 - 8.5	6,61	6,90	6,86	6,97
<i>Conductividad</i>	<i>μSiems/cm</i>	< 1250	40	35	40	46
<i>Turbiedad</i>	<i>UNT</i>	5	37,1	8,8	4,7	3,1
<i>Cloruros</i>	<i>mg/L</i>	250	6,4	3,5	4,3	5,7
<i>Dureza</i>	<i>mg/L</i>	200	16,0	8,0	20,0	16,0
<i>Calcio</i>	<i>mg/L</i>	70	6,4	3,2	6,4	6,4
<i>Magnesio</i>	<i>mg/L</i>	30 - 50	0,0	0,0	1,0	0,0
<i>Alcalinidad</i>	<i>mg/L</i>	250 - 300	20,0	10,0	10,0	20,0
<i>Bicarbonatos</i>	<i>mg/L</i>	250 - 300	20,4	10,2	10,2	20,4
<i>Sulfatos</i>	<i>mg/L</i>	200	15,0	12,0	9,0	8,0
<i>Amonios</i>	<i>mg/L</i>	< 0.50	0,000	0,030	0,320	0,120
<i>Nitritos</i>	<i>mg/L</i>	3	0,021	0,012	0,006	0,006
<i>Nitratos</i>	<i>mg/L</i>	50	0,01	0,01	0,00	0,01
<i>Hierro</i>	<i>mg/L</i>	0.30	0,530	0,220	0,110	0,090
<i>Fluoruros</i>	<i>mg/L</i>	1,5	-0,250	-0,120	0,170	-0,590
<i>Fosfatos</i>	<i>mg/L</i>	< 0.30	0,480	0,130	0,100	0,080
<i>Sólidos Totales</i>	<i>mg/L</i>	1000	228,0	60,0	35,0	25,0
<i>Sólidos Disueltos</i>	<i>mg/L</i>	500	21,0	18,2	21,4	24,6

Parámetros fuera de norma

**Fuente:** Laboratorio de Análisis Técnicos

**Elaborado por:** Byron Arequipa, 2015

**Tabla 32- 2:** Resultados Microbiológicos (Semana 4)

Parámetros	Unidad	Límites	Resultados			
			Entrada	Salida	Entrada	Salida
Coliformes Totales	UFC/100mL	< 1	752	1150	20	Ausencia
Coliformes Fecales	UFC/100mL	< 1	685	876	Ausencia	Ausencia

Parámetros fuera de norma

**Fuente:** Laboratorio SAQMIC

**Elaborado por:** Byron Arequipa, 2015



**Tabla 33- 2:** Caracterización Físico-Químico (Semana 5)

Determinaciones	Unidades	Límites	Resultados	
			Entrada	Salida
<i>Color</i>	<i>und Co/Pt</i>	15	607,00	615,00
<i>pH</i>	<i>Unid</i>	6.5 - 8.5	7,08	6,85
<i>Conductividad</i>	<i>μSiems/cm</i>	< 1250	27	23
<i>Turbiedad</i>	<i>UNT</i>	5	130,0	90,6
<i>Cloruros</i>	<i>mg/L</i>	250	5,7	4,3
<i>Dureza</i>	<i>mg/L</i>	200	8,0	12,0
<i>Calcio</i>	<i>mg/L</i>	70	1,6	1,6
<i>Magnesio</i>	<i>mg/L</i>	30 – 50	1,0	1,9
<i>Alcalinidad</i>	<i>mg/L</i>	250 – 300	10,0	10,0
<i>Bicarbonatos</i>	<i>mg/L</i>	250 – 300	10,2	10,2
<i>Aluminio</i>	<i>mg/L</i>	0,2	0,035	0,032
<i>Sulfatos</i>	<i>mg/L</i>	200	22,0	24,0
<i>Amonios</i>	<i>mg/L</i>	< 0.50	0,140	0,110
<i>Nitritos</i>	<i>mg/L</i>	3	0,063	0,061
<i>Nitratos</i>	<i>mg/L</i>	50	0,02	0,04
<i>Hierro</i>	<i>mg/L</i>	0.30	1,560	1,230
<i>Fluoruros</i>	<i>mg/L</i>	1,5	-1,220	-1,440
<i>Fosfatos</i>	<i>mg/L</i>	< 0.30	0,610	0,540
<i>Sólidos Totales</i>	<i>mg/L</i>	1000	216,0	128,0
<i>Sólidos Disueltos</i>	<i>mg/L</i>	500	14,4	11,7
Parámetros fuera de norma				

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

**Tabla 34- 2:** Resultados Microbiológicos (Semana 5)

Parámetros	Unidad	Límites	Resultados	
			Entrada	Salida
Coliformes Totales	UFC/100mL	< 1	798	Ausencia
Coliformes Fecales	UFC/100mL	< 1	615	Ausencia
Parámetros fuera de norma				

Fuente: Laboratorio SAQMIC

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

### 2.2.3. Caracterización del agua del Desarenador

**Tabla 35- 2:** Caracterización Físico-Químico del desarenador

Determinaciones	Unidades	Límites	Resultados	
			Entrada	Salida
<i>Color</i>	<i>und Co/Pt</i>	15	9,00	9,00
<i>pH</i>	<i>Unid</i>	6.5 – 8.5	7,26	7,12
<i>Conductividad</i>	<i>μSiems/cm</i>	< 1250	36	32
<i>Turbiedad</i>	<i>UNT</i>	5	2,9	2,2
<i>Cloruros</i>	<i>mg/L</i>	250	5,7	4,3
<i>Dureza</i>	<i>mg/L</i>	200	8,0	16,0
<i>Calcio</i>	<i>mg/L</i>	70	1,6	1,6
<i>Magnesio</i>	<i>mg/L</i>	30 – 50	1,0	2,9
<i>Alcalinidad</i>	<i>mg/L</i>	250 – 300	10,0	10,0
<i>Bicarbonatos</i>	<i>mg/L</i>	250 – 300	10,2	10,2
<i>Aluminio</i>	<i>mg/L</i>	0,2	0,039	0,020
<i>Sulfatos</i>	<i>mg/L</i>	200	9,0	9,0
<i>Amonios</i>	<i>mg/L</i>	< 0.50	0,000	0,010
<i>Nitritos</i>	<i>mg/L</i>	3	0,007	0,006
<i>Nitratos</i>	<i>mg/L</i>	50	0,00	0,00
<i>Hierro</i>	<i>mg/L</i>	0.30	0,060	0,070
<i>Fluoruros</i>	<i>mg/L</i>	1,5	-0,030	-0,140
<i>Fosfatos</i>	<i>mg/L</i>	< 0.30	0,230	0,170
<i>Sólidos Totales</i>	<i>mg/L</i>	1000	20,0	24,0
<i>Sólidos Disueltos</i>	<i>mg/L</i>	500	19,3	16,6

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

**Tabla 36- 2:** Caracterización Microbiológica del desarenador

Parámetros	Unidad	Límites	Resultados	
			Entrada	Salida
Coliformes Totales	UFC/100mL	< 1	77	52
Coliformes Fecales	UFC/100mL	< 1	60	37
Parámetros fuera de norma				

Fuente: Laboratorio SAQMIC

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

**Tabla 37- 2:** Promedios semanales de la caracterización Físico-Químico del agua

Determinaciones	Unidades	Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4		Semana 5	
		E*	S**	E	S	E	S	E	S	E	S
Color	und Co/Pt	20,5	13	1738	4383	309,5	283	110,5	40,5	607,00	615,00
pH	Unid	6,30	7,78	6,76	6,44	6,36	6,8	6,74	6,94	7,08	6,85
Conductividad	μSiems/cm	37,5	115	40	34	40,5	50,5	40	40,5	27	23
Turbiedad	UNT	2,95	2,1	360	1050	67,95	47,55	20,9	5,95	130,0	90,6
Cloruros	mg/L	5,7	4,6	5,7	2,8	3,9	3,15	5,35	4,6	5,7	4,3
Dureza	mg/L	18	42	24,0	24,0	22	20	18	12	8,0	12,0
Calcio	mg/L	5,6	7,2	6,4	8,0	7,2	6,4	6,4	4,8	1,6	1,6
Magnesio	mg/L	1	5,8	1,9	1,0	1	0,95	0,5	0	1,0	1,9
Alcalinidad	mg/L	30	50	40,0	40,0	50	30	15	15	10,0	10,0
Bicarbonatos	mg/L	30,6	51	40,8	40,8	51	30,6	15,3	15,3	10,2	10,2
Aluminio	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	0,035	0,032
Sulfatos	mg/L	11	9,5	48	114,0	15,5	14,5	12	10	22,0	24,0
Amonios	mg/L	0,02	0,015	0,410	0,450	0,045	0,105	0,16	0,075	0,140	0,110
Nitritos	mg/L	0,007	0,101	0,169	0,422	0,029	0,030	0,014	0,009	0,063	0,061
Nitratos	mg/L	0,01	0,08	0,05	0,03	0,01	0,02	0,005	0,01	0,02	0,04
Hierro	mg/L	0,075	0,215	1,820	2,030	0,75	0,615	0,32	0,155	1,560	1,230
Fluoruros	mg/L	0,14	0,055	-1,17	-2,14	-0,51	-0,54	-0,04	-0,355	-1,22	-1,44
Fosfatos	mg/L	0,15	0,165	1,350	1,930	0,33	0,38	0,29	0,105	0,610	0,540
Sólidos Totales	mg/L	20,05	60,2	21,3	17,3	22,1	26,8	131,5	42,5	216,0	128,0
Sólidos Disueltos	mg/L	-	-	-	-	-	-	21,2	21,4	14,4	11,7

Parámetros fuera de norma

\*E=Entrada \*\*S=Salida

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

**Tabla 38- 2:** Promedios semanales de los resultados microbiológicos del agua de entrada y salida

PARÁMETROS	UNIDAD	Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4		Semana 5	
		E*	S**	E	S	E	S	E	S	E	S
Coliformes Totales	UFC/100mL	315	A***	469	1220	592	770	386	575	798	A
Coliformes Fecales	UFC/100mL	10	A	89	430	296	A	342,5	430	615	A
Parámetros fuera de norma											

\*E=Entrada \*\*S=Salida \*\*\*A=Ausencia

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

#### 2.2.4. Pruebas de tratabilidad (Dosificación)

Se realizó las pruebas de jarras utilizando tanto policloruro de aluminio como sulfato de aluminio a diferentes concentraciones y a diferentes volúmenes de dosificaciones con el fin de determinar el mejor coagulante químico para tratar el agua, llegando a concluir el sulfato de aluminio al 1% con una dosificación de 30 ppm y como alcalinizante cal al 1% con una dosificación de 15 ppm, adecuadas para controlar los parámetros que se encontraban fuera de la norma como: color, turbiedad, hierro y fosfatos.

A continuación se muestran las pruebas realizadas de las distintas muestras obtenidas.

**Tabla 39- 2:** Pruebas de jarras utilizando policloruro de aluminio al 25%

Jarra N°	pH inicial	Color	Volumen PAC al 25% (ml)	AGUA SEDIMENTADA	
				pH	Turbiedad
1	6,76	1738	2	3,80	140
2			4	3,74	155,1
3			6	3,77	152,1
4			8	3,68	147,9
Jarra N°	pH inicial	pH al adicionar Na(OH)	Volumen PAC al 25% (ml)	AGUA SEDIMENTADA	
				pH	Turbiedad
1	6,76	8,53	1	4,08	167,7
2		8,45	1,5	3,98	146,3
3		8,13	2	4,00	144
4		8,59	3	4,00	166

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

**Tabla 40- 2:** Prueba de jarras utilizando sulfato de aluminio al 20%

Jarra N°	pH inicial	pH al adicionar Na(OH)	Color	Volumen de sulfato de aluminio al 20% (ml)	AGUA SEDIMENTADA	
					pH	Turbiedad
1	6,76	7,89	1738	3	2,94	17,80
2		8,12		6	2,81	16,56
3		8,22		9	2,77	21,10
4		7,31		12	2,78	18,10

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

**Tabla 41- 2:** Prueba de jarras utilizando sulfato de aluminio y alcalinizante al 1%

Jarra N°	pH inicial	Color	Dosis de cal (ml)	Volumen de sulfato de aluminio al 1% (ml)	AGUA SEDIMENTADA		
					pH	Turbiedad	Color
1	6,61	189	0,5	1	6,78	35	140
2			1	2	7,22	27,5	110
3			1,5	3	7,32	22,8	75
4			2	4	6,94	4,9	12

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

**Tabla 42- 2:** Prueba de jarras utilizando sulfato de aluminio, alcalinizante al 1% y simulación de filtración

Jarra N°	pH inicial	Dosis de cal (ml)	Volumen de sulfato de aluminio al 1% (ml)	AGUA SEDIMENTADA			AGUA FILTRADA		
				pH	Turbiedad	Color	pH	turbiedad	Color
1	7,08	0,5	1	6,80	65,4	205	6,78	48,6	168
2		1	2	6,58	50,2	150	6,60	26,8	84,2
3		1,5	3	7,22	13,3	35	7,26	6,80	28
4		2	4	7,64	4,61	18	7,60	2,70	15
Jarra N°	pH inicial	Dosis de cal (ml)	Volumen de sulfato de aluminio al 1% (ml)	AGUA SEDIMENTADA			AGUA FILTRADA		
				pH	Turbiedad	Color	pH	turbiedad	Color
1	7,08	1	2	7,74	45,9	120	7,58	15,7	48
2		1,5	3	7,54	6,47	47	7,83	1,55	7
Jarra N°	pH inicial	Dosis de cal (ml)	Volumen de sulfato de aluminio al 1% (ml)	AGUA SEDIMENTADA			AGUA FILTRADA		
				pH	Turbiedad	Color	pH	turbiedad	Color
1	7,08	1,5	3	7,40	5,36	12	7,52	2,94	6

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

### 2.2.5. Caracterización del agua después del tratamiento (Pruebas de jarras).

**Tabla 43- 2:** Caracterización del agua de entrada, de salida y después del tratamiento

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados		
			Captada	Salida	Tratada
<i>Color</i>	<i>und Co/Pt</i>	15	607,0	615,00	6,00
<i>pH</i>	<i>Unid</i>	6.5 - 8.5	7,08	6,85	7,52
<i>Conductividad</i>	<i>μSiems/cm</i>	< 1250	27	23	167
<i>Turbiedad</i>	<i>UNT</i>	5	130,0	90,6	2,94
<i>Cloruros</i>	<i>mg/L</i>	250	5,7	4,3	19,9
<i>Dureza</i>	<i>mg/L</i>	200	8,0	12,0	28,0
<i>Calcio</i>	<i>mg/L</i>	70	1,6	1,6	6,4
<i>Magnesio</i>	<i>mg/L</i>	30 - 50	1,0	1,9	2,9
<i>Alcalinidad</i>	<i>mg/L</i>	250 - 300	10,0	10,0	10,0
<i>Bicarbonatos</i>	<i>mg/L</i>	250 - 300	10,2	10,2	10,2
<i>Aluminio</i>	<i>mg/L</i>	0,2	0,035	0,032	0,139
<i>Sulfatos</i>	<i>mg/L</i>	200	22,0	24,0	30,0
<i>Amonios</i>	<i>mg/L</i>	< 0.50	0,140	0,110	0,010
<i>Nitritos</i>	<i>mg/L</i>	3	0,063	0,061	0,013
<i>Nitratos</i>	<i>mg/L</i>	50	0,02	0,04	0,02
<i>Hierro</i>	<i>mg/L</i>	0.30	1,560	1,230	0,110
<i>Fluoruros</i>	<i>mg/L</i>	1,5	-1,220	-1,440	-0,330
<i>Fosfatos</i>	<i>mg/L</i>	< 0.30	0,610	0,540	0,200
<i>Sólidos Totales</i>	<i>mg/L</i>	1000	216,0	128,0	20,0
<i>Sólidos Disueltos</i>	<i>mg/L</i>	500	14,4	11,7	89,0

Parámetros fuera de norma

\*Valores referenciales para aguas de consumo doméstico INEN 1108:2014

**FUENTE:** Laboratorio de Análisis Técnicos

**Elaborado por:** Byron Arequipa, 2015

## CAPITULO III

### 3. MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 3.1. Consideraciones para el rediseño

##### 3.1.1. Medición del caudal de la planta

Para la medición del caudal de la planta de tratamiento de agua potable actual aplicamos la Ecuación 1:

$$Q = A * V(0,99)$$

Donde:

Q: Caudal, (m<sup>3</sup>/s).

A: Área de la sección transversal, (m<sup>2</sup>).

V: Velocidad del agua en esa sección, (m/s).

✓ Determinación del área

Para la determinación del área empleamos la Ecuación 2:

$$A = hp * a$$

$$A = 0,1293 \text{ m} * 0,556 \text{ m}$$

$$A = 0,0718908 \text{ m}^2$$

✓ Determinación de la velocidad

Aplicamos la Ecuación 3:

$$V = \frac{d}{T}$$

**Tabla 1- 3:** Tiempo de viaje del flotador

Ensayo	Tiempo (s)
1	9,10
2	8
3	8,45
4	7,61
<b>Promedio:</b>	<b>8,29</b>

Distancia: 13,20 m

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

$$V = \frac{13,20 \text{ m}}{8,29 \text{ s}}$$

$$V = 1,59 \text{ m/s}$$

Una vez calculado el área y la velocidad procedemos al cálculo del caudal así:

$$Q = A * V(0,99)$$

$$Q = 0,0718908 \text{ m}^2 * 1,59 \frac{\text{m}}{\text{s}} (0,99)$$

$$Q = 0,113 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

### 3.1.2. Población futura

Aplicando la Ecuación 4, calculamos la población futura:

$$N_t = N_0 \left(1 + \frac{r}{100}\right)^t$$

Donde:

$N_t$ : Población futura de diseño.

$N_0$ : Población actual: 9.450 habitantes.

$r$ : Tasa media anual de crecimiento poblacional: 3,80% según el INEC.

$t$ : Tiempo de diseño: 20 años

$$N_{2035} = 9.450 \left(1 + \frac{3,80}{100}\right)^{20}$$

$$N_{2035} = 19.924 \text{ habitantes}$$



**Tabla 2- 3:** Proyección de la población futura

N	AÑO	POBLACIÓN
0	2015	9.450
1	2016	9.809
2	2017	10.182
3	2018	10.569
4	2019	10.970
5	2020	11.387
6	2021	11.820
7	2022	12.269
8	2023	12.735
9	2024	13.219
10	2025	13.722
11	2026	14.243
12	2027	14.784
13	2028	15.346
14	2029	15.929
15	2030	16.535
16	2031	17.163
17	2032	17.815
18	2033	18.492
19	2034	19.195
20	2035	19.924

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

### 3.1.3. Nivel de complejidad del sistema

En base a la población futura calculada, se determina el nivel de complejidad del sistema de acuerdo a la Tabla 6-1.

**Tabla 3- 3:** Nivel de complejidad del sistema

Nivel	Población de diseño
Bajo	<2500
Medio	2501 - 12500
Medio alto	12501- 60000
Alto	>60000

Fuente: Romero, J. Purificación del agua. 2006.

El nivel de complejidad es medio alto que corresponde a los 19.924 habitantes proyectada para 20 años.

### 3.1.4. Dotación neta (Dn)

La dotación neta depende del nivel de complejidad del sistema, para lo cual utilizamos la Tabla 7-1, teniendo una dotación neta mínima de 130 l/hab-día y el valor máximo de 180 l/hab-día.

**Tabla 4- 3:** Dotación neta

Nivel de complejidad	Dotación neta mínima l/hab-día	Dotación neta máxima l/hab-día
Bajo	100	150
Medio	120	170
Medio alto	130	-
Alto	150	-

Fuente: Romero, J. Purificación del agua. 2006.

La corrección del consumo neto máximo debido a la temperatura es de 15% de acuerdo con la Tabla 8-1, ya que la temperatura oscila entre los 20°C y 28°C.

**Tabla 5- 3:** Variación a la dotación neta según el clima

Nivel de complejidad	Clima cálido (mas de 28°C)	Clima templado (Entre 20°C y 28°C)	Clima frío (Menos de 20°C)
Bajo	+ 15%	+ 10%	No se admite corrección por clima
Medio	+ 15%	+ 10%	
Medio alto	+ 20%	+ 15%	
Alto	+ 20%	+ 15%	

Fuente: RAS, 2000.

Por consiguiente el consumo neto máximo será de 207 l/hab-día.

### 3.1.5. Pérdidas técnicas

Con el nivel de complejidad del sistema se determina el porcentaje de pérdidas técnicas, obtenida a partir de la Tabla 9-1.

**Tabla 6- 3:** Pérdidas técnicas

Nivel de complejidad	% máximo admisible de pérdidas técnicas
Bajo	40
Medio	30
Medio alto	25
Alto	20

Fuente: Romero, J. Purificación del agua. 2006.

Siendo por tanto el porcentaje máximo admisible de pérdidas técnicas de 25%.

### **3.1.6. Dotación bruta**

Se calcula de acuerdo a la Ecuación 5 así:

$$Db = \frac{207}{1 - \text{pérdidas técnicas}}$$

Donde:

Dn: Dotación neta: 207 l/hab-día.

Pérdidas técnicas: 25%

$$Db = \frac{207}{1 - 0,25}$$

$$Db = 276 \text{ l/hab} - \text{día}$$

### **3.1.7. Caudal medio diario**

El caudal medio diario se lo determina a partir de la Ecuación 6:

$$Q_{med} = \frac{P \times Db}{86.400}$$

Donde:

Qmed: Caudal medio diario, (l/s).

P: Número de habitantes al final del período del diseño: 19.924 habitantes

Db: Dotación bruta: 276 l/hab-día.

86.400: Segundos/día, (s/d).

$$Q_{med} = \frac{19.924 \text{ hab} \times 276 \frac{\text{l}}{\text{hab-día}}}{86.400 \frac{\text{s}}{\text{día}}}$$

$$Q_{med} = 63,65 \text{ l/s}$$

### **3.1.8. Caudal máximo diario**

De acuerdo al nivel de complejidad del sistema de la Tabla 10-1 obtenemos el valor de  $K_1$

**Tabla 7- 3:** Valores de  $K_1$

Nivel de complejidad	$K_1$
Bajo	1,3
Medio	1,3
Medio alto	1,2
Alto	1,2

**Fuente:** Romero, J. Purificación del agua. 2006.

Teniendo el valor de  $K_1$  determinamos el caudal medio diario, utilizando la Ecuación 7:

$$QMd = K_1 * Qmed$$

Donde:

QMd: Caudal máximo diario, (l/s).

Qmed: Caudal medio diario: 63,65 l/s.

$K_1$ : Coeficiente de variación diaria: 1,2.

$$QMd = 1,2 * 63,65 \frac{l}{s}$$

$$QMd = 76,38 \text{ l/s}$$

### **3.1.9. Caudal de captación**

Empleamos la Ecuación 8, para calcular el caudal de captación:

$$Q_{captación} = K_2 * QMd$$

$$Q_{captación} = 1,4 * 76,38 \frac{l}{s}$$

$$Q_{captación} = 106,93 \text{ l/s}$$

En vista que el caudal actual de la planta de tratamiento de agua potable es de 113 l/s, mayor que el del caudal de captación calculado para el rediseño, se tomara como base para los demás cálculos el caudal actual de la planta.

### 3.2. Cálculos para el rediseño de los procesos de potabilización

En base a los análisis físico-químicos y microbiológicos del agua se pudo determinar el tratamiento ideal al cual debe someterse, con el fin de producir agua apta para el consumo humano.

#### 3.2.1. Mezcla rápida en vertederos rectangulares

##### 3.2.1.1. Cálculo de la profundidad crítica del flujo, $h_c$

$$q = \frac{Q}{B}$$

Donde:

q: Caudal por unidad de ancho del vertedero, ( $m^2/s$ ).

Q: Caudal actual:  $0,113 m^3/s$ .

B: Ancho del vertedero:  $0,50 m$  (Autor).

$$q = \frac{0,113}{0,50}$$

$$q = 0,226 m^2/s$$

La profundidad crítica de flujo,  $h_c$ , se calcula con la Ecuación 11:

$$h_c = \left( \frac{q^2}{g} \right)^{1/3}$$

Donde:

$h_c$ : Profundidad crítica de flujo, (m).

g: Gravedad:  $9,8 m/s^2$ .

q: Caudal por unidad de ancho del vertedero:  $0,226 m^2/s$ .

$$h_c = \left( \frac{0,226^2}{9,8} \right)^{1/3}$$

$$h_c = 0,173 m$$

##### 3.2.1.2. Cálculo de la distancia $L_m$

La altura de la pared del vertedero, P, será de 1,2 m a fin de que se dé un resalto estable y una mezcla eficiente.

Por lo tanto para el cálculo de la distancia  $L_m$ , se utiliza la Ecuación 10:

$$L_m = 4,3 P^{0,1} h_c^{0,9}$$

Donde:

$h_c$ : Profundidad crítica de flujo: 0,173 m.

P: Altura del vertedero: 1,2 m (Para tener un resalto estable y mezcla eficiente).

$$L_m = 4,3 (1,2)^{0,1} (0,173)^{0,9}$$

$$L_m = 0,90 \text{ m}$$

### 3.2.1.3. Cálculo de la profundidad del agua en la sección 1

La profundidad del agua en la sección 1 está dada por la siguiente Ecuación 13:

$$\frac{h_1}{h_c} = \frac{\sqrt{2}}{1,06 + \sqrt{\frac{P}{h_c}} + 1,5}$$

Donde:

$h_1$ : Profundidad antes del resalto, (m).

$h_c$ : Profundidad crítica: 0,173 m.

P: Altura del vertedero: 1,2 m (Para tener un resalto estable y mezcla eficiente).

$$h_1 = \frac{\sqrt{2}}{1,06 + \sqrt{\frac{1,2}{0,173}} + 1,5} * 0,173$$

$$h_1 = 0,062 \text{ m}$$

### 3.2.1.4. Cálculo de la profundidad del agua en la sección 2

Para el cálculo de la velocidad  $V_1$ , se lo realiza con la Ecuación 16:

$$V_1 = \frac{q}{h_1}$$

$$V_1 = \frac{0,226}{0,062}$$

$$V_1 = 3,645 \text{ m/s}$$

Para el cálculo del Número de Froude, utilizamos la siguiente Ecuación 15:

$$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gh_1}}$$

$$F_1 = \frac{3,645}{\sqrt{9,8 * 0,062}}$$

$$F_1 = 4,676$$

La profundidad después del resalto,  $h_2$ , se calcula mediante la Ecuación 14:

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1}{2}$$

$$h_2 = \frac{\sqrt{1 + 8(4,676)^2} - 1}{2} * 0,062$$

$$h_2 = 0,380 \text{ m}$$

### 3.2.1.5. Cálculo de la pérdida de energía en el resalto, $h$

Utilizamos la Ecuación 17 para realizar el cálculo de la velocidad,  $V_2$ :

$$V_2 = \frac{q}{h_2}$$

$$V_2 = \frac{0,226}{0,380}$$

$$V_2 = 0,59 \text{ m/s}$$

Con la Ecuación 18 procedemos a calcular la pérdida de energía en el resalto,  $h$ :

$$h = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1h_2}$$

$$h = \frac{(0,380 - 0,062)^3}{4(0,380 * 0,062)}$$

$$h = 0,341 \text{ m}$$

### 3.2.1.6. Cálculo de la longitud del resalto, $L_j$

Para calcular la longitud del resalto,  $L_j$ , utilizamos la Ecuación 19:

$$L_j = 6(h_2 - h_1)$$

$$L_j = 6(0,380 - 0,062)$$

$$L_j = 1,908 \text{ m}$$

### 3.2.1.7. Cálculo del tiempo de mezcla, $T$

A partir de la Ecuación 21 determinamos la velocidad media en el resalto,  $V_m$ :

$$V_m = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

$$V_m = \frac{3,645 + 0,59}{2}$$

$$V_m = 2,12 \text{ m/s}$$

Luego de haber calculado  $V_m$ , procedemos a calcular el tiempo de mezcla  $T$ , a través de la Ecuación 20:

$$T = \frac{L_j}{V_m}$$

$$T = \frac{1,908}{2,12}$$

$$T = 0,9 \text{ s}$$

### 3.2.1.8. Cálculo del gradiente de velocidad, $G$

Finalmente procedemos a calcular el gradiente de velocidad,  $G$ , con la Ecuación 22:

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} x \sqrt{\frac{h}{T}}$$



Donde:

G: Gradiente de velocidad, ( $s^{-1}$ ).

h: Pérdida de energía en el resalto: 0,341 m.

T: Tiempo de retención: 0,9 s.

$\sqrt{\gamma/\mu}$ : Relación peso específico y viscosidad absoluta: 3114,640 (20°C), [Anexo A (1)].

$$G = 3114,640 \times \sqrt{\frac{0,341}{0,9}}$$

$$G = 1917,18 \text{ s}^{-1}$$

Previamente aplicando la siguiente relación determinamos si el vertedero rectangular puede ser utilizado como aforador:

$$\frac{P}{h_c} > 3$$

$$\frac{1,2}{0,173} = 6,94 > 3$$

Si puede ser usado como aforador.

### 3.2.2. *Dosificación del coagulante*

#### 3.2.2.1. *Concentración de coagulante y alcalinizante ppm (mg/l) al 1%*

En vista que la solución de coagulante y alcalinizante preparado al 1% tiene una concentración total 10000 ppm, y de acuerdo a las pruebas de jarras realizadas en vasos de precipitación de 1000ml, la dosis adecuada para tratar el agua cruda es de 3ml, procedemos a determinar la concentración (ppm) que posee esos 3ml así:

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

Donde:

C<sub>1</sub>: Concentración de la solución al 1% preparada: 10000ppm.

V<sub>1</sub>: Volumen tomada de la solución al 1% preparada: 3ml.

V<sub>2</sub>: Volumen del vaso de precipitación: 1000ml.

C<sub>2</sub>: ¿?

$$(10000\text{ppm}) * (3\text{ml}) = C_2 * (1000\text{ml})$$

$$C_2 = 30 \text{ ppm}$$

Por tanto al tomar 3ml de la solución al 1% y diluir a 1000ml se obtendrá una concentración de 30 ppm, y llegando a concluir que cada ml de la solución al 1% posee una concentración de 10 ppm.

**Tabla 8- 3:** Dosis de coagulante a añadir en cada jarra de 1 L

Dosis de solución al 1% (ml)	Dosis de coagulante ppm
1	10
2	20
3	30
4	40
5	50
6	60
7	70

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

En vista que la solución preparada del alcalinizante (Cal) al 1% posee la misma concentración que la solución de coagulante al 1% de sulfato de aluminio, es decir, por cada ml de la solución al 1% posee una concentración de 10 ppm. Cada mg/l (ppm) de sulfato de aluminio aplicado actúa con la mitad mg/l (ppm) de alcalinidad así:

**Tabla 9- 3:** Dosis del alcalinizante (Cal) en cada jarra de 1 L

Dosis de solución al 1% de sulfato de aluminio(ml)	Dosis de solución al 1% de alcalinizante (ml)	Dosis de alcalinizante ppm
1	0,5	5
2	1	10
3	1,5	15
4	2	20
5	2,5	25
6	3	30
7	3,5	35

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

### 3.2.2.2. Consumo de sulfato de aluminio al día

$$W = Q * D$$

Donde:

W: consumo de Sulfato de aluminio en peso, (kg/día).

D: Dosis óptima de coagulante: 30 g/m<sup>3</sup> (Pruebas de jarras)

Q: Caudal de la planta de tratamiento: 9763,2 m<sup>3</sup>/día

$$W = 9763,2 \frac{m^3}{día} * 30 \frac{g}{m^3}$$

$$W = 292.896 \frac{g}{día} \times \frac{1 kg}{1000 g} = 292,9 \frac{kg}{día}$$

### 3.2.2.3. Consumo de alcalinizante al día

$$W_2 = Q * D$$

Donde:

W: consumo de Sulfato de aluminio en peso, (kg/día).

D: Dosis óptima de coagulante: 15 g/m<sup>3</sup> (Pruebas de jarras).

Q: Caudal de la planta de tratamiento: 9763,2 m<sup>3</sup>/día.

$$W_2 = 9763,2 \frac{m^3}{día} * 15 \frac{g}{m^3}$$

$$W_2 = 146.448 \frac{g}{día} \times \frac{1 kg}{1000 g} = 146,45 \frac{kg}{día}$$

### 3.2.3. Floculador hidráulico de flujo horizontal

En base a estudios de Arboleda, para floculadores hidráulicos se toma los siguientes aspectos:

- ✓ T = 15 – 20 min
- ✓ Gradiente de velocidad 10 – 100 s<sup>-1</sup>
- ✓ Velocidad de flujo = 0,10 – 0,60 m/s

Por cuestiones de seguridad se adoptará una altura total del tanque de 1,1m debido a que hay que tomar en cuenta una cierta distancia de borde libre.

Se diseñará dos unidades de floculador de tal manera que la planta siga trabajando normalmente cuando se realice el mantenimiento de cada unidad, y su caudal será la mitad para cada floculador.

### 3.2.3.1. *Distancia total recorrida del agua*

Para el cálculo de la longitud de canales,  $L_c$ , utilizamos la Ecuación 23:

$$L_c = V * T * 60$$

Donde:

$L_c$ : Distancia total recorrida del agua, (m).

T: Período de retención: 15 min (Valor asumido).

V: Velocidad del fluido: 0,10 m/s.

$$L_c = 0,10 * 15 * 60$$

$$L_c = 90 \text{ m}$$

### 3.2.3.2. *Área de los canales*

Utilizamos la siguiente Ecuación 24:

$$A = \frac{Q}{V}$$

Donde:

A: Área de los canales, ( $\text{m}^2$ ).

Q: Caudal de la planta:  $0,0565 \text{ m}^3/\text{s}$ .

V: Velocidad del fluido: 0,10 m/s.

$$A = \frac{0,0565}{0,10}$$

$$A = 0,57 \text{ m}^2$$

### 3.2.3.3. *Ancho de canales del floculador*

Para el cálculo del ancho de los canales del floculador, utilizamos la Ecuación 25:

$$a = \frac{A}{H}$$

Donde:

a: Ancho de los canales, (m).

A: Área de los canales: 0,57 m<sup>2</sup>.

H: Altura de agua en la unidad: 1,1 m.

$$a = \frac{0,57}{1,1}$$

$$a = 0,52 \text{ m}$$

#### 3.2.3.4. Distancia entre el borde del floculador y el tabique

Para calcular la distancia entre el borde del floculador y el tabique o pantalla, utilizamos la Ecuación 26:

$$d = 1,5 \times a$$

Donde:

d: Distancia entre el borde del floculador y el tabique, (m).

a: Ancho de los canales: 0,52 m.

$$d = 1,5 \times 0,52$$

$$d = 0,78 \text{ m}$$

#### 3.2.3.5. Ancho del floculador

Mediante la Ecuación 27 procedemos a calcular el ancho del floculador:

$$B_F = 3 b + d$$

Donde:

B<sub>F</sub>: Ancho del floculador, (m).

b: Ancho útil de la lámina: 0,825 m (Constante establecida).

d: Distancia entre el borde del floculador y el tabique: 0,78m.

$$B_F = 3 (0,825) + 1,02$$

$$B_F = 3,25 \text{ m}$$

### 3.2.3.6. *Número de tabiques o canales*

Para calcular el número de tabiques o canales, utilizamos la Ecuación 28:

$$N = \frac{L_c}{B_F}$$

Donde:

N: Número de canales, (unidades).

$L_c$ : Distancia total recorrida del agua: 90 m.

$B_F$ : Ancho del floculador: 3,25m.

$$N = \frac{90}{3,25}$$

$$N = 27,69 \approx 28 \text{ unidades}$$

### 3.2.3.7. *Longitud del floculador*

Para determinar la longitud del floculador, utilizamos la Ecuación 29:

$$L = (N \times a) + (N - 1)e$$

Donde:

L: Longitud del floculador, (m).

N: Número de canales: 28 unidades.

a: Ancho de los canales: 0,52 m.

e: Espesor de las láminas: 0,03m. (Valor asumido).

$$L = (28 \times 0,52) + (28 - 1) \times 0,03$$

$$L = 15,37 \text{ m} \approx 15,40 \text{ m}$$

### 3.2.3.8. *Pérdida de carga en las vueltas*

Para determinar la pérdida de carga en las vueltas, utilizamos la Ecuación 30:

$$h_1 = \frac{K V^2 (N - 1)}{2g}$$

Donde:

$h_1$ : Pérdida de carga en las vueltas, (m).

V: Velocidad del fluido: 0,10 m/s.

N: Número de canales: 28 unidades.

g: Gravedad:  $9,8 \text{ m}^2/\text{s}$ .

K: Coeficiente de pérdida de carga ( $K=2-4$ ) (recomendable  $K=3-3,5$ ).

$$h_1 = \frac{3 \times 0,10^2 (28 - 1)}{2 \times 9,8}$$

$$h_1 = 0,041 \text{ m}$$

### 3.2.3.9. *Perímetro mojado de las secciones*

A través de la Ecuación 31, calculamos el perímetro mojado de las secciones:

$$Pm = 2H + a$$

Donde:

Pm: Perímetro mojado de las secciones, (m).

H: Altura de agua en la unidad: 1,1m.

a: Ancho de los canales: 0,52 m.

$$Pm = 2 \times 1,1 + 0,52$$

$$Pm = 2,72 \text{ m}$$

### 3.2.3.10. *Radio hidráulico en los canales*

Por medio de la Ecuación 32 procedemos a calcular el radio hidráulico en los canales:

$$rh = \frac{A}{Pm}$$

Donde:

Rh: Radio hidráulico de canales, (m).

A: Área de los canales:  $0,57 \text{ m}^2$ .

Pm: Perímetro mojado de las secciones: 2,72 m.

$$rh = \frac{0,57}{2,72}$$

$$rh = 0,21 \text{ m}$$

### 3.2.3.11. *Pérdida de carga en los canales*

Para la determinación de la pérdida de carga en los canales, procedemos a utilizar la Ecuación 33:

$$h_2 = \left( \frac{n \times V}{r h^{2/3}} \right)^2 \times L_c$$

Donde:

$h_2$ : Pérdida de carga en los canales, (m).

$n$ : Coeficiente de Manning: 0,013 (Anexo B).

$$h_2 = \left( \frac{0,013 \times 0,10}{0,21^{2/3}} \right)^2 \times 90$$

$$h_2 = 0,001 \text{ m}$$

### 3.2.3.12. Pérdida de carga total

Para calcular la pérdida de carga total, utilizamos la Ecuación 34:

$$hf = h_1 + h_2$$

Donde:

$hf$ : Pérdida de carga total (m).

$h_1$ : Pérdida de carga en las vueltas: 0,041m.

$h_2$ : Pérdida de carga en los canales: 0,001m.

$$hf = 0,041 + 0,001$$

$$hf = 0,042 \text{ m}$$

### 3.2.3.13. Gradiente de velocidad

Finalmente procedemos a calcular el gradiente de velocidad, aplicando la Ecuación 35:

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} \times \sqrt{\frac{hf}{T}}$$

Donde:

$G$ : Gradiente de velocidad, ( $s^{-1}$ ).

$hf$ : Pérdida de carga total: 0,042 m.

$T$ : Tiempo de retención: 15 min.

$\sqrt{\gamma/\mu}$ : Relación peso específico y viscosidad absoluta: 3114,640 (20°C), [Anexo A (1)].

$$G = 3114,640 \times \sqrt{\frac{0,042}{15 \times 60}}$$



$$G = 21,28 \text{ s}^{-1}$$

### 3.2.4. *Sedimentador de tasa alta o alta velocidad*

Se proyectan sedimentadores de tasa alta o alta velocidad con seditubos los cuales tendrán un ángulo inclinado de 60 grados para facilitar que los lodos sedimentados se deslicen hacia el fondo del tanque, un espesor de 1mm y la carga superficial varía entre 120 y 300 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día.

#### 3.2.4.1. *Área de sedimentación*

Para calcular el área de sedimentación, utilizamos la Ecuación 36:

$$CS = \frac{Q}{As}$$

Donde:

As: Área de sedimentación, (m<sup>2</sup>).

CS: Carga superficial: 180 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d (Valor asumido).

Q: Caudal de la planta: 0,113 m<sup>3</sup>/s.

$$As = \frac{Q}{CS}$$

$$As = \frac{0,113}{180}$$

$$As = 54,24 \text{ m}^2$$

#### 3.2.4.2. *Velocidad promedio de flujo entre placas*

Para determinar la velocidad promedio de flujo entre placas, aplicamos la Ecuación 37:

$$v_o = \frac{Q}{As \times \text{Sen}\theta}$$

Donde:

v<sub>o</sub>: Velocidad promedio de flujo, (m/s).

As: Área de sedimentación: 54,24 m<sup>2</sup>.

Q: Caudal de la planta: 0,113 m<sup>3</sup>/s.

θ: Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa: 60 ° respecto a la horizontal.

$$v_o = \frac{0,113}{54,24 \times \text{Sen}60}$$

$$v_o = 2,57 \times 10^{-3} \text{ m/s} \approx 0,257 \text{ cm/s}$$

#### 3.2.4.3. Longitud relativa del sedimentador de tasa alta

Para calcular la longitud relativa del sedimentador de tasa alta, utilizamos la Ecuación 40:

$$L = \frac{l}{e}$$

Donde:

l: Altura del modulo de la placa: 1,20 m(Valor asumido).

e: Ancho del conducto o espaciamiento entre placas: 0,06m(Valor asumido).

$$L = \frac{1,20}{0,06}$$

$$L = 20$$

#### 3.2.4.4. Número de Reynolds

Mediante la Ecuación 42 podemos determinar el Número de Reynolds:

$$Re = \frac{v_o \times e}{\nu}$$

Donde:

Re: Número de Reynolds.

e: Ancho del conducto o espaciamiento entre placas: 0,06 m(Valor asumido).

$\nu$ : Viscosidad cinemática:  $1,004 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ . [Anexo A (2)]

$v_o$ : Velocidad promedio de flujo:  $2,57 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ .

$$Re = \frac{2,57 \times 10^{-3} \times 0,06}{1,004 \times 10^{-6}}$$

$$Re = 153$$

#### 3.2.4.5. Longitud de transición

Con la Ecuación 41 calculamos la longitud de transición:

$$L' = 0,013 \times Re$$

Donde:

Re: Número de Reynolds: 153.

$$L' = 0,013 \times 153$$

$$L' = 1,99$$

#### 3.2.4.6. Longitud relativa del sedimentador de tasa alta corregida en la longitud de transición

La longitud relativa del sedimentador de tasa alta corregida en la longitud de transición, se calcula a partir de la Ecuación 39:

$$L_c = L - L'$$

$$L_c = 20 - 1,99$$

$$L_c = 18,01$$

#### 3.2.4.7. Velocidad de sedimentación crítica

Para determinar la velocidad de sedimentación crítica, procedemos a emplear la Ecuación 38:

$$v_{sc} = \frac{S_c \times v_o}{\text{Sen}\theta + (L_c \times \text{Cos}\theta)}$$

Donde:

$S_c$ : Valor crítico: 11/8 para conductos cuadrados.

$L_c$ : Longitud relativa del sedimentador de alta tasa, en flujo laminar, corregida en la longitud de transición: 18,01.

$v_o$ : Velocidad promedio de flujo: 222,05 m/día

$$v_{sc} = \frac{\frac{11}{8} * 222,05}{\text{Sen}60 + (18,01 \times \text{Cos}60)}$$

$$v_{sc} = 35,65 \text{ m/día} \approx 0,041 \text{ cm/s}$$

#### 3.2.4.8. *Tiempo de retención en las placas*

Para el cálculo del tiempo de retención en las placas, utilizamos la Ecuación 43:

$$t = \frac{l}{v_o}$$

Donde:

t: Tiempo de retención, (min).

l: Altura del modulo de la placa: 1,20 m(Valor asumido).

v<sub>o</sub>: Velocidad promedio de flujo: 2,57x10<sup>-3</sup> m/s.

$$t = \frac{1,2}{2,57 \times 10^{-3} * 60}$$

$$t = 7,78 \text{ min}$$

#### 3.2.4.9. *Ancho del sedimentador*

A fin de determinar el ancho del sedimentador, empleamos la Ecuación 44:

$$b_s = \sqrt{\frac{As}{5}}$$

Donde:

b<sub>s</sub>: Ancho del sedimentador (m).

As: Área de sedimentación: 54,24 m<sup>2</sup>.

$$b_s = \sqrt{\frac{54,24}{5}}$$

$$b_s = 3,3 \text{ m}$$

#### 3.2.4.10. *Longitud del sedimentador*

Con la Ecuación 45 calculamos la longitud del sedimentador:

$$L_s = \frac{As}{b_s}$$

Donde:

$L_s$ : Longitud del sedimentador (m).

$A_s$ : Área de sedimentación: 54,24 m<sup>2</sup>.

$$L_s = \frac{54,24}{3,3}$$

$$L_s = 16,44 \text{ m} \approx 16,5 \text{ m}$$

#### 3.2.4.11. Número de placas por módulo

Al emplear la Ecuación 46 procedemos a determinar el número de placas por módulo:

$$N = \frac{(L_s \times \text{Sen}\theta) + d}{d + ep}$$

Donde:

N: Número de placas por módulo

$L_s$ : Longitud del sedimentador: 16,50 m.

d: Separación entre placas: 0,06m.

ep: Espesor de la placa: 0,01m.

$$N = \frac{(16,50 \times \text{Sen}60) + 0,06}{0,06 + 0,01}$$

$$N = 192 \text{ placas}$$

#### 3.2.4.12. Tiempo de retención en el tanque de sedimentación

Para calcular el tiempo de retención en el tanque de sedimentación, utilizamos la Ecuación 47:

$$T_s = \frac{V}{Q} = \frac{A_s \times H_s}{Q}$$

Donde:

$T_s$ : Tiempo de retención en el tanque de sedimentación (min).

$H_s$ : Altura total: 4 m (Asumido).

$$T_s = \frac{54,24 \times 4}{0,113}$$

$$T_s = 32 \text{ min.}$$

### 3.2.4.13. Volumen del sedimentador

Para el cálculo del volumen del sedimentador, utilizamos la Ecuación 48:

$$V_s = L_s \times b_s \times H_s$$

Donde:

$V_s$ : Volumen del sedimentador, ( $m^3$ ).

$L_s$ : Longitud del sedimentador: 16,50 m.

$b_s$ : Ancho del sedimentador: 3,3 m.

$H_s$ : Altura del sedimentador: 4 m.

$$V_s = 16,50 \times 3,3 \times 4$$

$$V_s = 217,8 \text{ m}^3$$

### Dimensionamiento de la altura, $H_s$ :

$H_{sp}$ : Altura del agua sobre las placas: 0,51 m (Asumido).

$H_p$ : Altura de placas ( $1,20 \times \text{Sen } 60^\circ$ ): 1,04 m.

$H_{dp}$ : Altura por debajo de las placas: 2,45 m (Asumido).

### 3.2.4.14. Dimensionamiento de un lecho de secado

Para aguas coaguladas se puede suponer que los sólidos suspendidos, en mg/l son aproximadamente iguales a la turbiedad, en NTU.

Para la determinación de producción de lodos aplicamos la Ecuación 1.49:

$$S = 86,4Q(0,44Al + SS + A)$$

Donde:

$S$ : Lodo producido, kg/día base seca

$Q$ : Gasto de agua cruda:  $0,113 \text{ m}^3/\text{s}$

$Al$ : Dosis de alumbre: 30 mg/l

$SS$ : Sólidos suspendidos del agua cruda: 120 mg/l

$A$ : Productos químicos adicionales: 15 mg/l

86,4: Factor de conversión

$$S = 86,4 \times 0,113 [0,44(30) + 120 + 15]$$

$$S = 1446,9 \text{ kg/día}$$

La carga máxima sería de aproximadamente 1446,9 kg/día, cuyo valor varía conforme a las condiciones climáticas ya que en épocas de sol no hay la necesidad de utilizar los químicos por lo que la producción de lodos sería muy bajo.

Para calcular el volumen que ocupa esos sólidos:

Densidad relativa del lodo húmedo: 1,01 kg/l

$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

$$\text{volumen} = \frac{\text{masa}}{\rho}$$

$$\text{volumen} = \frac{1446,9}{1,01}$$

$$\text{volumen} = 1432,6 \text{ L almacenados al día}$$

Ahora se determina que altura ocuparan esos lodos en el sedimentador.

El área superficial del sedimentador  $A_s$  54,24 m<sup>2</sup>

$$H \text{ lodos} = \frac{\text{volumen de lodos}}{A_s \text{ del tanque}}$$

$$H \text{ lodos} = \frac{1,4326 \text{ m}^3/\text{día}}{54,24 \text{ m}^2}$$

$$H \text{ lodos} = 0,02 \text{ m} = 2,0 \text{ cm al día}$$

Es decir que durante un trayecto de retención de lodos en 7 días en el sedimentador tendrá una altura de lodos de 14 cm.

Ahora determinamos el área del lecho del secado, el cual tendrá una profundidad de 1m

$$\text{Área} = \frac{\text{Volumen}}{P}$$

$$\text{Área} = \frac{1,4326 \text{ m}^3/\text{día}}{1 \text{ m}}$$

$$\text{Área} = 1,4326 \text{ m}^2 \text{ al día}$$

Por tanto se asumirá una longitud de 5m y un ancho de 3m suficiente para tratar la acumulación de retención de lodos salida del sedimentador durante el período de 7 días.

### 3.2.5. Desinfección

La dosificación de cloro será determinado para un caudal de 113 l/s, la desinfección del agua se efectuará en el vertedero de control de la salida de la filtración, mediante la aplicación de hipoclorito de calcio, el cual consta de un tanque de plástico de 1000 l.

#### 3.2.5.1. Cantidad de hipoclorito de calcio necesaria

$$C = Q * d$$

Donde:

Q: Consumo de hipoclorito de calcio al 65%.

Q: Caudal de la planta: 113 l/s.

d: Dosis de cloro: 1,2 mg/l.

$$Q = \frac{113 \text{ l}}{\text{s}} \times \frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ día}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} = 9763,2 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

$$C = 9763,2 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * 1,2 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}$$

$$C = 11,7 \frac{\text{kg}}{\text{día}} * \frac{2,2 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} = 25,74 \frac{\text{lb}}{\text{día}}$$

$$C = \frac{25,74 \frac{\text{lb}}{\text{día}}}{0,70} = 36,77 \frac{\text{lb}}{\text{día}}$$



### 3.3. Resultados

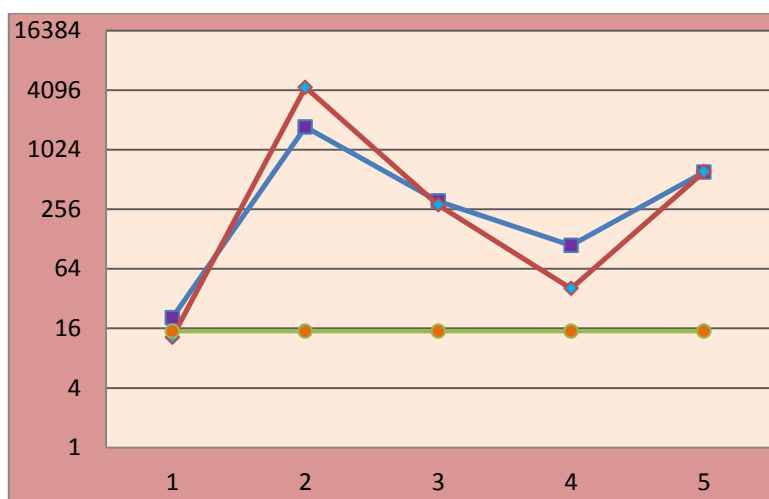
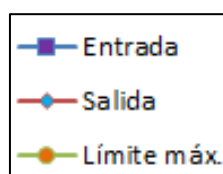
#### 3.3.1. Resultados de los promedios semanales de la caracterización del agua de la planta de tratamiento

**Tabla 10- 3:** Promedio semanales de los parámetros físico-químicos fuera de Norma

Determinaciones	Unidades	Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4		Semana 5	
		E	S	E	S	E	S	E	S	E	S
Color	und Co/Pt	20,5	13	1738	4383	309,5	283	110,5	40,5	607,00	615,00
Turbiedad	UNT	2,95	2,1	360	1050	67,95	47,55	20,9	5,95	130,0	90,6
Hierro	mg/L	0,075	0,215	1,820	2,030	0,75	0,615	0,32	0,155	1,560	1,230
Fosfatos	mg/L	0,15	0,165	1,350	1,930	0,33	0,38	0,29	0,105	0,610	0,540

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

COLOR		
Semana	Entrada	Salida
1	20,5	13
2	1738	4383
3	309,5	283
4	110,5	40,5
5	607	615

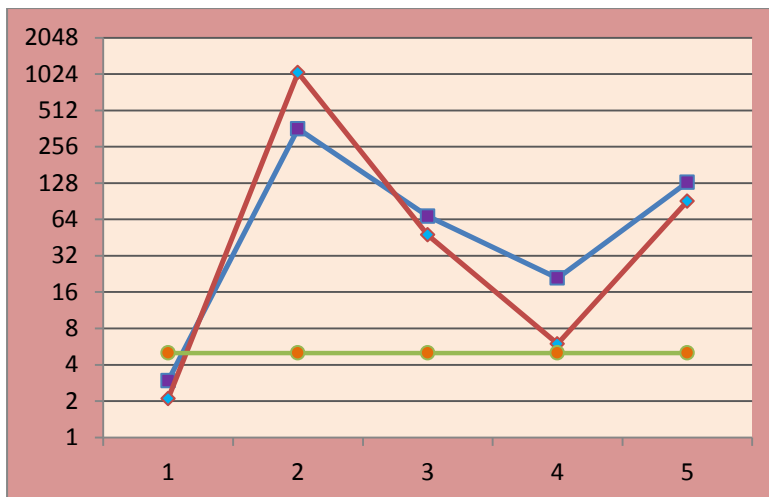


**Gráfico 1- 3:** Resultados del promedio semanal de color

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

En el Gráfico 1-3 se puede observar los valores del promedio semanal del color tanto de entrada como de salida, en el cual se puede identificar que la mayoría de los parámetros se encuentra fuera de los límites máximos de 15 unid Pt/Co de acuerdo a la Norma INEN 1108.

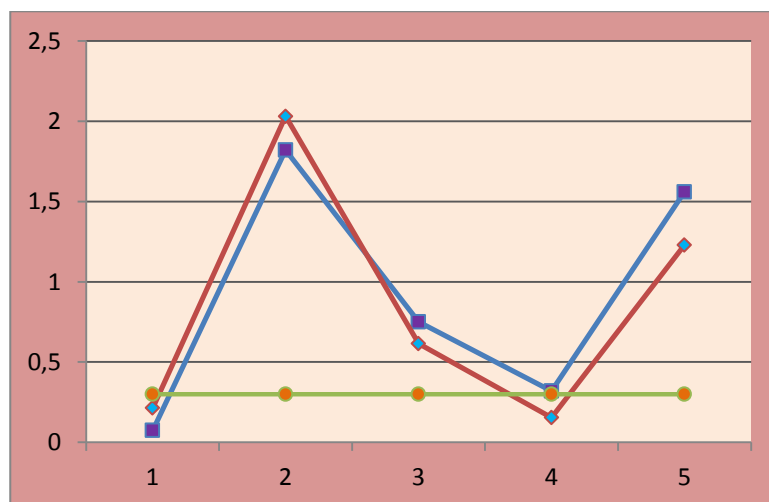
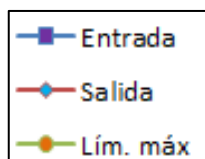
TURBIEDAD		
Semana	Entrada	Salida
1	2,95	2,1
2	360	1050
3	67,95	47,55
4	20,90	5,95
5	130	90,6



**Gráfico 2- 3:** Resultados del promedio semanal de turbiedad  
Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

En el Gráfico 2-3 se puede observar los valores del promedio semanal de turbiedad tanto de entrada como de salida, en el cual se puede apreciar que en la semana 1 el parámetro se encuentra dentro de la Norma, mientras que en las demás semanas señaladas se encuentran fuera de los límites máximos de 5 NTU de acuerdo a la Norma INEN 1108.

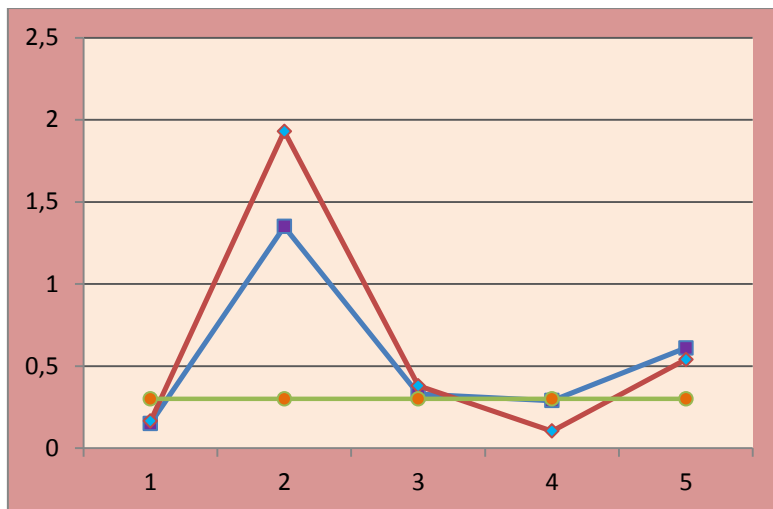
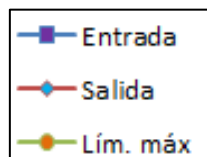
HIERRO		
Semana	Entrada	Salida
1	0,075	0,215
2	1,820	2,030
3	0,75	0,615
4	0,32	0,155
5	1,560	1,230



**Gráfico 3- 3:** Resultados del promedio semanal de hierro  
Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

En el Gráfico 3-3 se puede observar los valores del promedio semanal de hierro tanto de entrada como de salida, en el cual se puede notar que en las semana 1 el parámetro se encuentra dentro de lo límites, de igual forma en la semana 4 específicamente a la salida de la planta de tratamiento, mientras que en las demás semanas señaladas se encuentran fuera de los límites máximos de 0,3 mg/l de acuerdo a la Norma INEN 1108.

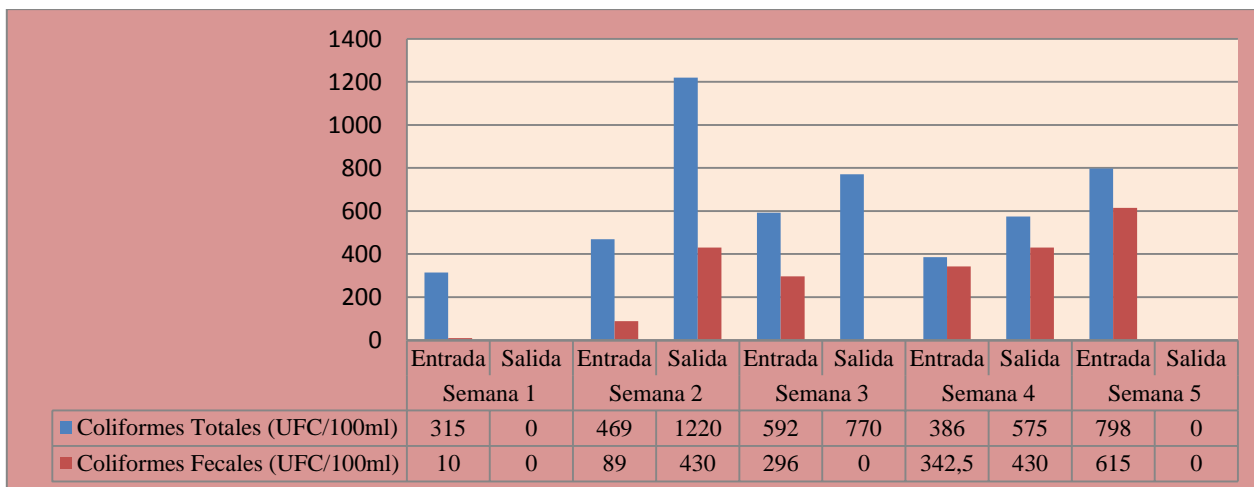
FOSFATOS		
Semana	Entrada	Salida
1	0,15	0,165
2	1,350	1,930
3	0,33	0,38
4	0,29	0,105
5	0,610	0,540



**Gráfico 4- 3:** Resultados del promedio semanal de fosfatos  
Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

En el Gráfico 4-3 se puede observar los valores del promedio semanal de fosfatos de entrada y salida, en el cual se puede notar que en las semanas 1 y 4 el parámetro se encuentra dentro de los límites, mientras que en las demás semanas señaladas se encuentran fuera de los límites máximos de 0,3 mg/l de acuerdo a la Norma INEN 1108.

De acuerdo a los resultados obtenidos semanalmente de los parámetros fuera de norma, se puede observar que en la semana 2 sus resultados exceden significativamente y esto se debe a las fuertes lluvias que se produjo llevando a suspender el abastecimiento de agua a la población a fin de dar mantenimiento a los procesos existentes.

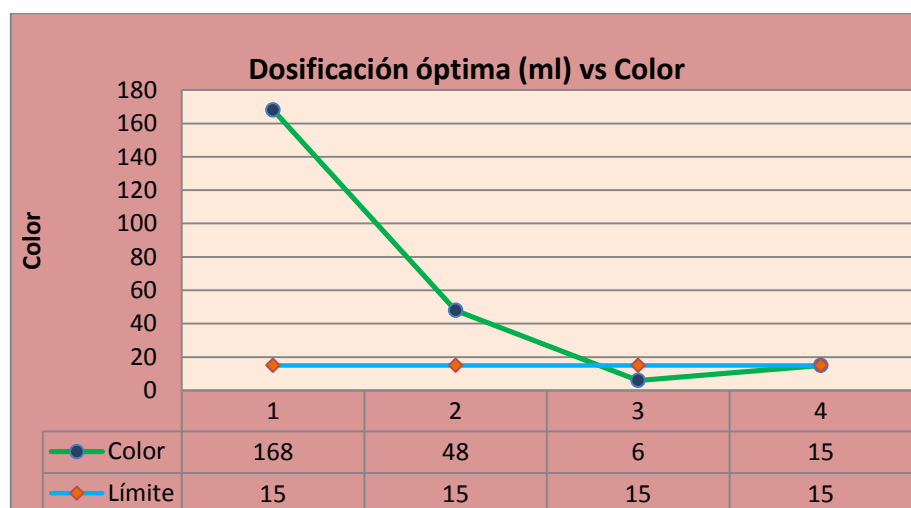


**Gráfico 5- 3:** Promedio semanales de los resultados microbiológicos del agua de entrada y salida  
Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

Basado en la Tabla 38-2 de los resultados microbiológicos se puede constatar que se encuentran fuera de la norma, ya que existe la presencia de coliformes totales y fecales en el agua de entrada y salida de la planta, durante las semanas en que fueron tomadas las muestras.

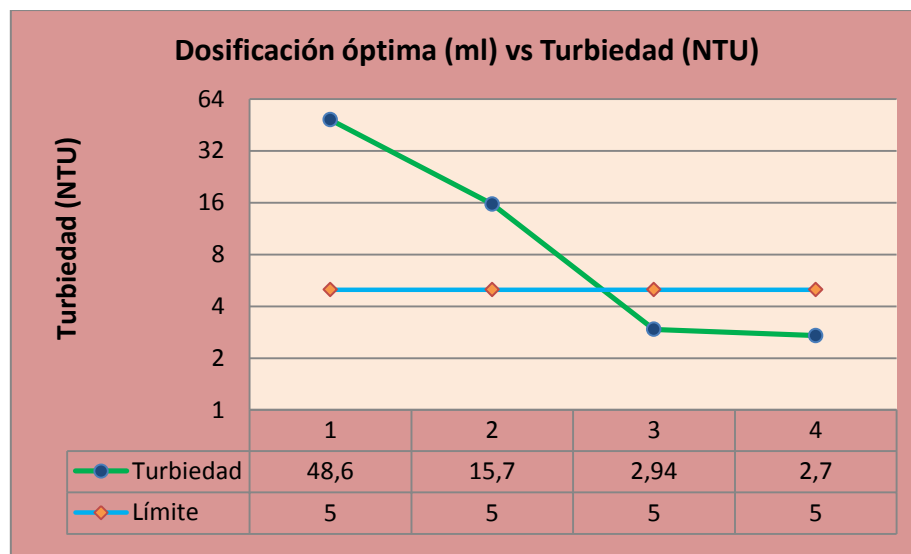
### 3.3.2. Resultados de las Prueba de Tratabilidad (Dosificación)

En base a la Tabla 42-2 de las pruebas de jarras realizadas se pudo determinar la dosis adecuada para reducir los parámetros físico-químicos fuera de norma, llegando a utilizar como coagulante el sulfato de aluminio al 1% y como alcalinizante cal al 1% con el fin de mantener estable el pH, teniendo que en cuenta que por cada ppm (mg/l) de sulfato de aluminio aplicado actúa con la mitad de alcalinizante ppm (mg/l).



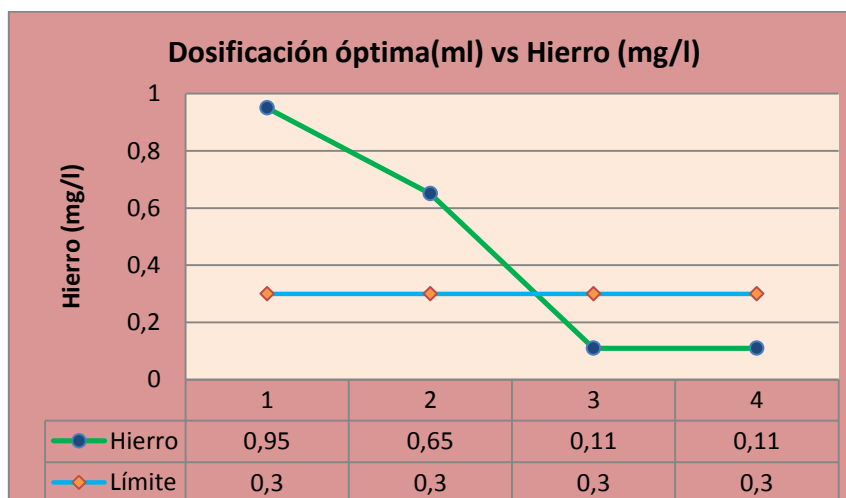
**Gráfico 6- 3:** Dosificación óptima vs Color  
Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

En el Gráfico 6-3 se puede observar que el agua con menor cantidad de color es de 6 unid Co/Pt dándole por tanto al agua un aspecto cristalino libre de impurezas, sin descartar que el límite máximo permisible es de 15 unid Co/Pt por lo que se puede notar que con una dosificación de 4ml también está dentro de los límites aunque no presentaba la misma cristalinidad.



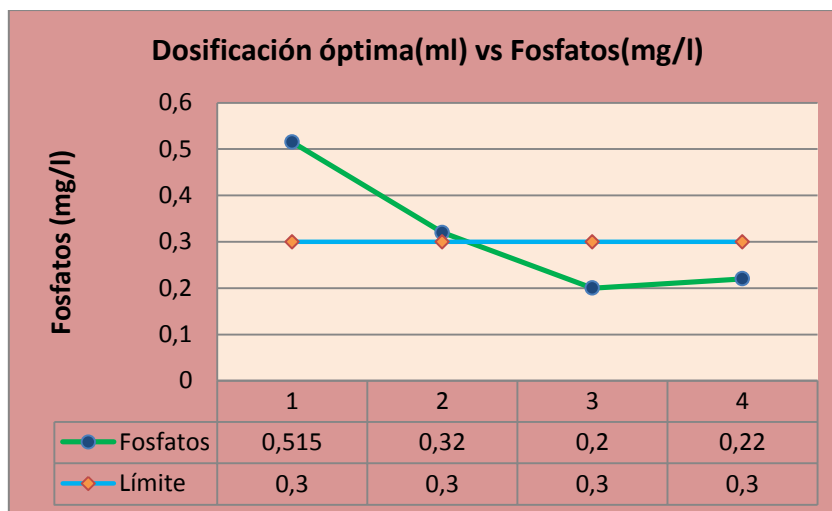
**Gráfico 7- 3:** Dosificación óptima vs Turbiedad  
Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

En el Gráfico 7-3 se puede observar las diferentes turbiedades que presenta al actuar con diferentes volúmenes de dosificación, teniendo la turbiedad más baja de 2,94 al dosificar 3 ml de sulfato de aluminio al 1% y 1,5 ml de alcalinizante al 1%.



**Gráfico 8- 3:** Dosificación óptima vs Hierro  
Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

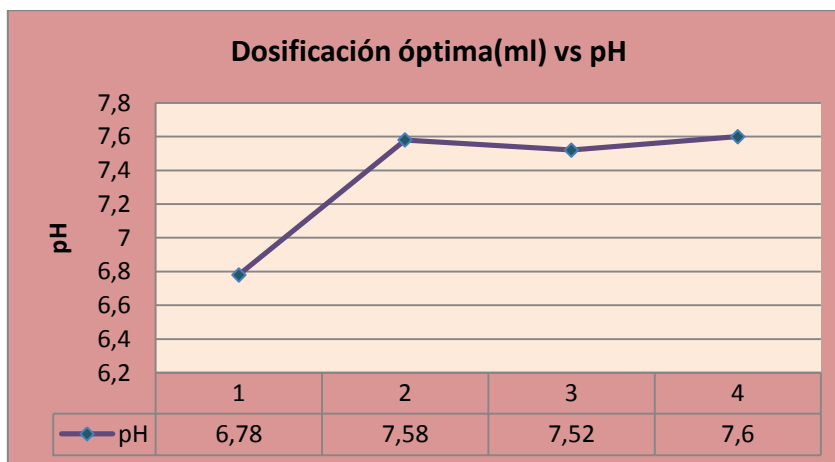
En el Gráfico 8-3 se puede observar que el agua con menor concentración de hierro se encuentra entre un volumen de dosificación de 3 y 4 ml, el cual está dentro de los límites permisibles de 0,3 mg/l, mientras que los demás no cumplen la norma establecida.



**Gráfico 9- 3:** Dosificación óptima vs Fosfatos

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

En el Gráfico 9-3 se puede observar que el agua con menor concentración de fosfatos es de 3 ml, teniendo en cuenta que también el volumen de dosificación de 4ml se encuentra dentro de los límites permisibles de 0,3 mg/l y los otros no cumplen la norma.



**Gráfico 10- 3:** Dosificación óptima vs pH

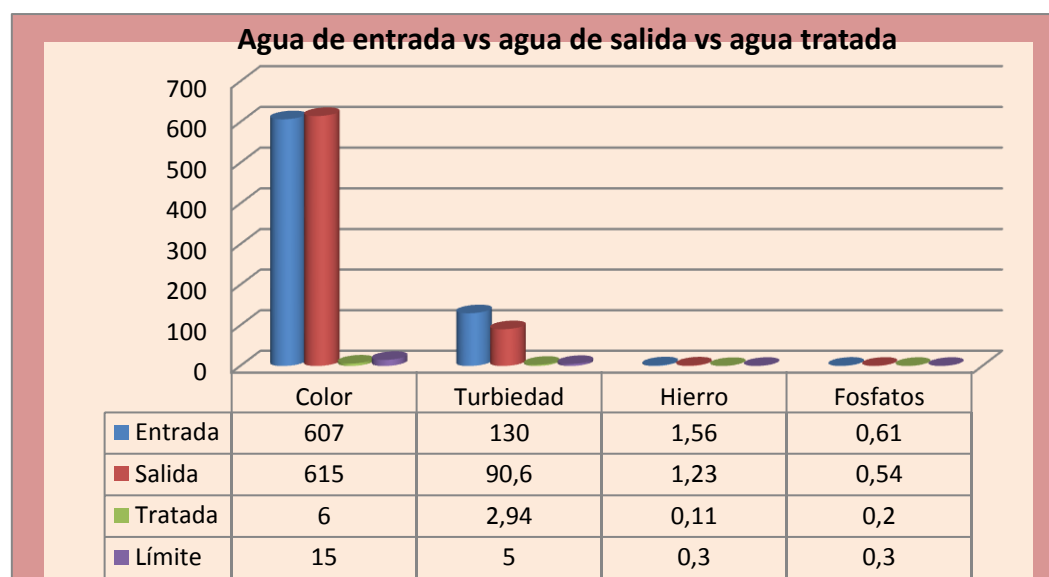
Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

En el Gráfico 10-3 se puede observar el pH que en todos los volúmenes de dosificación se encuentran dentro de los límites permisibles de 6,5-8,5 debido a que durante los ensayos realizados se aplicó como alcalinizante cal al 1%, el mismo que tiene la función de estabilizar el pH.

En vista a estos resultados comparativos se puede establecer que la dosificación adecuada para tratar el agua cruda es de 3 ml de sulfato de aluminio al 1% y de 1,5 ml de alcalinizante al 1% suficiente para mejorar la calidad del agua que ingresa a la planta de tratamiento.

### 3.3.3. Resultados del agua después del tratamiento (Pruebas de Jarras).

En base a la Tabla 43-2, se procedió a realizar la siguiente gráfica de los parámetros físico-químicos fuera de norma y su respectiva tratabilidad:



**Gráfico 11- 3:** Caracterización del agua de entrada, de salida y tratada (Prueba de jarras)  
Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

En este Gráfico se observa que los parámetros de color, turbiedad, hierro y fosfatos tanto de entrada como de salida del agua se encuentran fuera de norma y luego de aplicar el tratamiento respectivo todos los parámetros cumplen los límites permisibles conforme a la norma establecida.

### 3.3.4. Resultados microbiológicos (Desinfección)

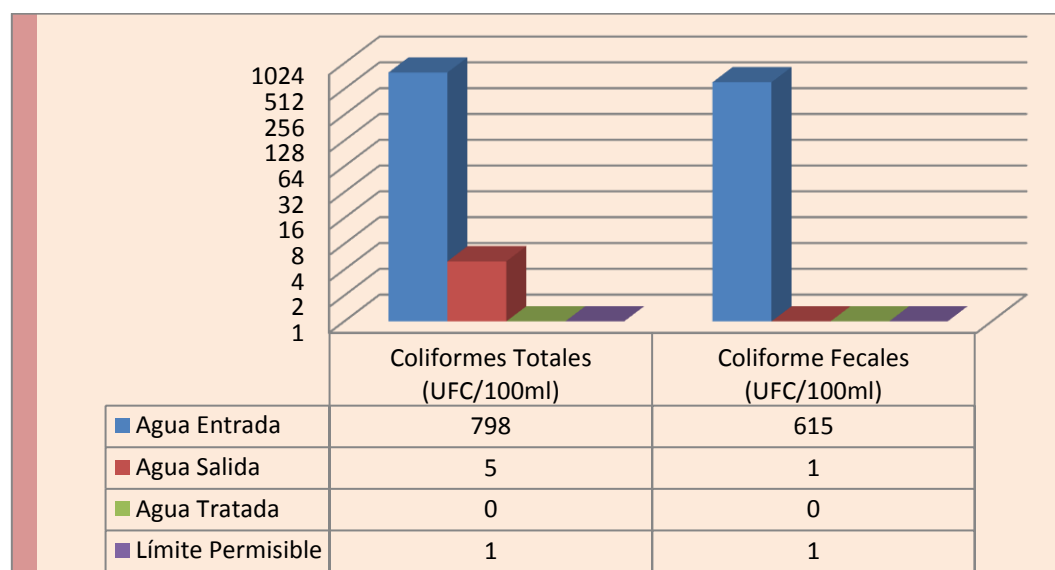
Debido a que el agua de entrada y salida de la planta actual contiene presencia de coliformes totales y fecales, se procedió a realizar la desinfección con hipoclorito de calcio al agua tratada, dándonos como resultados la ausencia de coliformes.

**Tabla 11- 3:** Comparación de los resultados microbiológicos del agua entrada, salida y tratada

Parámetros	Unidad	Límites	Resultados		
			Entrada	Salida	Tratada
Coliformes Totales	UFC/100mL	< 1	798	5	Ausencia
Coliformes Fecales	UFC/100mL	< 1	615	1	Ausencia

Fuente: Laboratorio SAQMIC

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015



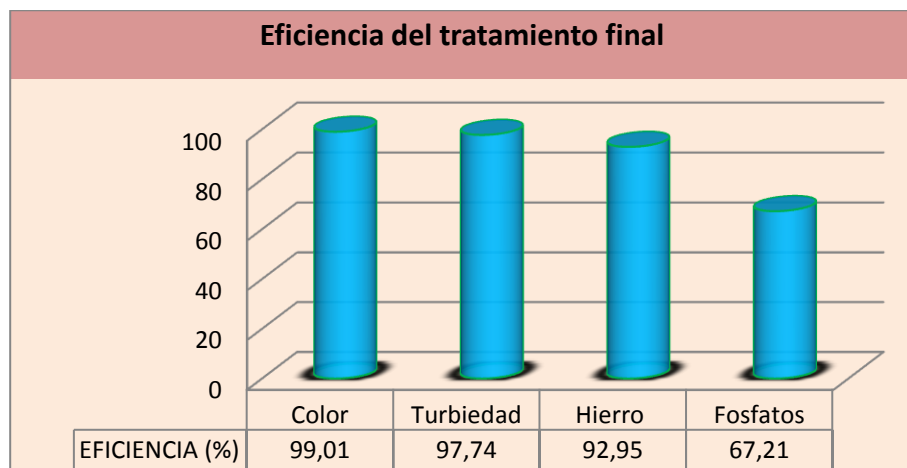
**Gráfico 12- 3:** Comparación de los resultados microbiológicos del agua de entrada, salida y tratada

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

En este Gráfico se puede observar la comparación de los resultados microbiológicos del agua de entrada, salida y tratada, de acuerdo a los límites permisibles de la norma.



### 3.3.5. Eficiencia del rediseño de la planta de tratamiento



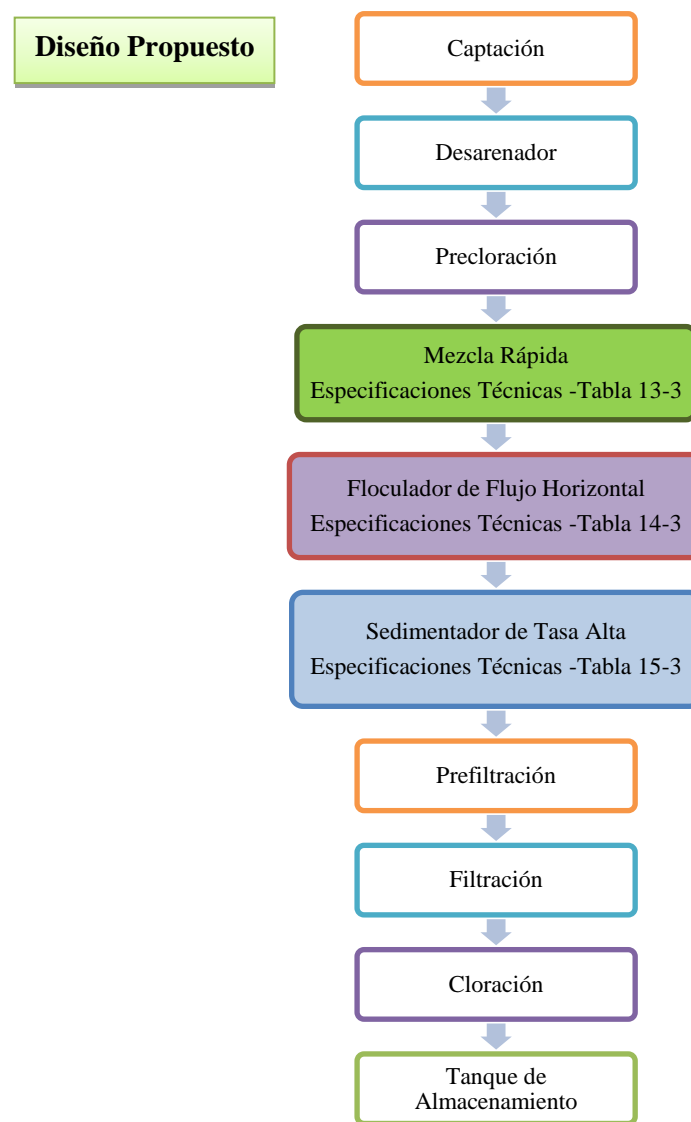
**Gráfico 13- 3:** Eficiencia del tratamiento propuesto  
Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

En el Gráfico 13-3 se puede observar la alta eficiencia que posee el sistema de potabilización propuesto, removiendo impurezas y contaminantes que arrastra el agua durante su recorrido en épocas de lluvia.

Siendo la eficiencia de la planta un promedio de 89,23% debido a la acción del coagulante y alcalinizante que actúan eficientemente durante las pruebas de jarras y también a la simulación del proceso de filtración, a fin de controlar los parámetros físico-químicos fuera de norma.

### 3.4. Propuesta

A fin de obtener agua potable de acuerdo a los requisitos establecidos por la Norma INEN 1108:2104, es necesario efectuar un tratamiento que garantice su consumo sin generar riesgos a los consumidores, por tal motivo es indispensable proponer un rediseño de la planta de tratamiento de agua potable del Sector Yawari del Cantón Archidona. En esta planta se encuentra 4 parámetros físico-químicos y 2 parámetros microbiológicos fuera de norma, como son: color, turbiedad, hierro, fosfatos, coliformes totales y fecales.



**Gráfico 14- 1: Propuesta**  
Elaborado por: **Byron Arequipa, 2015**

### 3.4.1. Parámetros para el rediseño

**Tabla 12- 3:** Proyección Futura 2035

PARÁMETROS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDADES
Población futura	$N_t$	19.924	habitantes
Dotación neta	$D_n$	207	l/hab-día
Dotación bruta	$D_b$	276	l/hab-día
Caudal medio diario	$Q_{med}$	63,65	l/s
Caudal máximo diario	$Q_{Md}$	76,38	l/s
Caudal de captación	$Q_{captación}$	106,93	l/s

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

### 3.4.2. Procesos de Potabilización

**Tabla 13- 3:** Datos del Mezclador rápido en vertederos rectangulares

PARÁMETROS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDADES
Caudal por unidad de ancho del vertedero	$q$	0,226	$m^2/s$
Profundidad crítica	$h_c$	0,173	m
Distancia	$L_m$	0,90	m
Profundidad del agua en la sección 1	$h_1$	0,062	m
Velocidad en la sección 1	$V_1$	3,645	m/s
Número de Froude	$F_1$	4,676	
Profundidad del agua en la sección 2	$h_2$	0,380	m
Velocidad en la sección 2	$V_2$	0,59	m/s
Pérdida de energía en el resalto	$h$	0,341	m
Longitud del resalto	$L_j$	1,908	m
Velocidad media	$V_m$	2,12	m/s
Tiempo de mezcla	$T$	0,9	s
Gradiente de velocidad	$G$	1979,18	$s^{-1}$

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

**Tabla 14- 3:** Datos del Floculador hidráulico de flujo horizontal

PARÁMETROS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDADES
Distancia total recorrida del agua	$L_c$	90	m
Área de los canales	A	0,57	m <sup>2</sup>
Ancho de canales del floculador	a	0,52	m
Distancia entre el borde del floculador y el tabique	d	0,78	m
Ancho del floculador	$B_F$	3,25	m
Número de tabiques o canales	N	28	unidades
Longitud del floculador	L	15,40	m
Pérdida de carga en las vueltas	$h_1$	0,041	m
Perímetro mojado de las secciones	Pm	2,72	m
Radio hidráulico en los canales	rh	0,21	m
Pérdida de carga en los canales	$h_2$	0,001	m
Pérdida de carga total	hf	0,042	m
Gradiente de velocidad	G	21,28	s <sup>-1</sup>

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

**Tabla 15- 3:** Datos del Sedimentador de tasa alta o alta velocidad

PARÁMETROS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDADES
Área del sedimentador	$A_s$	54,24	m <sup>2</sup>
Velocidad promedio de flujo entre placas	$v_o$	$2,57 \times 10^{-3}$	m/s
Longitud relativa del sedimentador de tasa alta	L	20	m
Número de Reynolds	Re	153	
Longitud de transición	$L'$	1,99	
Longitud relativa del sedimentador de tasa alta corregida en la longitud de transición	$L_c$	18,01	
Velocidad de sedimentación crítica	$v_{sc}$	$0,41 \times 10^{-3}$	m/s
Tiempo de retención en las placas	T	7,78	min

**Tabla 5-3:** Continuación

Ancho del sedimentador	$b_s$	3,3	m
Longitud del sedimentador	$L_s$	16,5	m
Número de placas por módulo	N	192	
Tiempo de retención en el tanque de sedimentación	$T_s$	32	min
Volumen de sedimentador	$V_s$	217,8	$m^3$
Dimensionamiento: Altura del agua sobre las placas	Hsp	0,51	m
Altura de placas	Hp	1,04	m
Altura por debajo de las placas	Hdp	2,45	m

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

### 3.4.3. Dosificación

**Tabla 16- 3:** Dosificación de Coagulante y Alcalinizante

PARÁMETROS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDADES
Concentración de la solución de trabajo	X	1	%
Consumo de coagulante al día	W	292,9	kg/día
Consumo de alcalinizante al día	$W_2$	146,45	kg/día

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

**Tabla 17- 3:** Dosificación del Hipoclorito de calcio

PARÁMETROS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDADES
Dosis de cloro necesario	D	1,2	mg/l
Cantidad de hipoclorito de calcio necesario	C	16,71	kg/día

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

### 3.5. Presupuesto

#### 3.5.1. Presupuesto del rediseño de la planta de potabilización

En la siguiente tabla se presenta el presupuesto de la construcción de los procesos propuestos para la planta de tratamiento de agua potable del Sector Yawari del Cantón Archidona.

**Tabla 18- 3:** Presupuesto general

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
<b>VERTEDERO RECTANGULAR</b>				
Limpieza y desbroce	m <sup>2</sup>	3,5	0,46	1,61
Replanteo y nivelación	m <sup>2</sup>	3	3,81	11,43
Hormigón simple F'C = 210 Kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	3,5	162.24	567,84
Enlucido vertical con impermeabilizante	m <sup>2</sup>	3.64	13.60	49,50
Encofrado y desencofrado con madera de monte	m <sup>2</sup>	10	10.71	107,1
Malla electrosoldada 10-20	m <sup>2</sup>	3.64	6.67	24,27
				<b>761,75</b>
<b>FLOCULADOR HIDRAULICO DE FLUJO HORIZONTAL</b>				
Limpieza y desbroce	m <sup>2</sup>	22	0.46	10,12
Replanteo y nivelación	m <sup>2</sup>	21,5	3.81	81,92
Excavación manual	m <sup>3</sup>	43,5	27.17	1181,90
Relleno compactado manual (pizon)	m <sup>3</sup>	30.70	10.51	322,66
Replanteo H.S. 140 Kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	6.90	120.97	834,69
Hormigón simple F'C = 210 Kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	20.55	162.24	3334,03
Enlucido vertical con impermeabilizante	m <sup>2</sup>	205.40	13.60	2793,44
Encofrado y desencofrado con madera de monte	m <sup>2</sup>	171.42	10.71	1835,91
Malla electrosoldada 8-20	m <sup>2</sup>	89.40	4.41	394,25
Polietileno 2 mm	m <sup>2</sup>	283.38	0.77	218,20
				<b>11007,12</b>
<b>SEDIMENTADOR DE ALTA TASA</b>				
Limpieza y desbroce	m <sup>2</sup>	26	0.46	11,96
Replanteo y nivelación	m <sup>2</sup>	24,5	3.81	93,35
Excavación manual	m <sup>3</sup>	50,5	27.17	1372,09
Relleno compactado manual (pizon)	m <sup>3</sup>	48.60	10.51	510,79
Hormigón simple F'C = 210 Kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	30	162.24	4867,20
Encofrado y desencofrado con madera de monte	m <sup>2</sup>	309.30	10.71	3312,60
Malla electrosoldada 10-20	m <sup>2</sup>	309.25	6.67	2062,70
Enlucido vertical con impermeabilizante	m <sup>2</sup>	309.25	13.60	4205,80
Tubería PVC 160mm desagüe	m	25.35	12.26	310,80
Tapón PVC 160mm desagüe	u	2.55	6.14	15,66
Tee PVC 160mm desagüe	u	2.55	20.08	51,20
Seditubos de ABS	m <sup>2</sup>	54,45	100	5445
				<b>21918,25</b>
<b>TOTAL</b>				<b>33687,12</b>

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

### 3.5.2. Costos de químico al día

**Tabla 19- 3:** Costos de químicos al día

QUÍMICOS	CANTIDAD DE QUÍMICO A UTILIZAR (kg/día)	PRECIO DE QUÍMICO POR kg (\$)	PRECIO DE QUÍMICO AL DÍA (\$)
Hipoclorito de calcio (HTH)	16,71	4,10	68,51
Sulfato de aluminio	292,9	0,70	205,03
Alcalinizante (cal)	146,45	0,41	60,04

Elaborado por: Byron Arequipa, 2015

### 3.6. Análisis y discusión de resultados

De acuerdo a la Tabla 24-2 se realizó caracterización físico-químico del agua de la vertiente del río Calmituyacu en donde observamos que los parámetros de **color** y **pH** se encuentran fuera de norma basados en la Norma INEN 1108:2014.

También se realizó la caracterización físico-químico del agua de entrada y salida de la planta de tratamiento, durante un período de 5 semanas y se identifica que los parámetro de **color, turbiedad, hierro** y **fosfatos** se encuentran fuera de los límites permisibles de la norma, los resultados especificados se encuentran en las Tablas 25-2, 27-2, 29-2, 31-2, 33-2 y 37-2 y también se presentan en los Gráficos 1-3, 2-3, 3-3 y 4-3, que detallan cada parámetro mencionado como va variando durante el tiempo en que fueron tomadas las muestras.

Basados en estos resultados anteriores en donde hay la presencia de **hierro** y **fosfatos**, se considero tomar una muestra del desarenador a fin de verificar su estado de funcionamiento, cuyos resultados se especifican en la Tabla 35-2 donde se puede observar que sus parámetros están dentro de los límites permisibles, por lo tanto la variación notable de éstos dos parámetros se exceden específicamente en días de lluvia trayendo consigo mayor cantidad de impurezas debido a la creciente del río del cual se abastece.

En los análisis microbiológicos del agua expuestos en las Tablas 26-2, 28-2, 30-2, 32-2 y 34-2 y además representado en el Gráfico 5-3 se pudo determinar que después del proceso de cloración, existe la presencia de **coliformes totales** y **coliformes fecales** tanto a la entrada como a la salida del

tratamiento actual, lo cual nos permite determinar que el tanque de cloración no posee la dosificación adecuada, y no se da un adecuado mantenimiento y limpieza de la planta de tratamiento.

Considerando estos antecedentes se optó por realizar las pruebas de tratabilidad (prueba de jarras) con ayuda de PAC a una concentración del 25% a diferentes dosificaciones, y los resultados no fueron favorables, por lo que se descartó para las siguientes pruebas, cuyos resultados se especifican en la Tabla 39-2.

Como segunda opción se consideró utilizar un coagulante (sulfato de aluminio) y un alcalinizante (Cal), de igual manera a diferentes concentraciones, dosificaciones y empleando el proceso de simulación de filtración, llegando a obtener la dosificación adecuada de 30 ppm de sulfato de aluminio al 1% y 15 ppm de cal al 1% a fin de reducir los parámetros que se encuentran fuera de la norma los cuales se especifican en las Tablas 40-2, 41-2 y 42-2 y además se detallan en los Gráficos 6-3, 7-3, 8-3 y 9-3 las diferentes dosificaciones empleadas al agua cruda.

Luego de las pruebas de tratabilidad se realizó la caracterización físico-químico del agua después del tratamiento, especificados en la Tabla 43-2 y en el Gráfico 11-3 en donde se observa que los parámetros se encuentran dentro de los límites permisibles. Para una dosificación adecuada del coagulante y alcalinizante los resultados se presentan en la Tabla 16-3.

De la misma manera se procedió a realizar la desinfección del agua tratada con hipoclorito de calcio que se especifica en Tabla 11-3 y de manera ilustrada en el Gráfico 12-3, el agua después de actuar con el desinfectante no tiene presencia de coliformes totales y fecales, brindando así agua libre de microorganismos apta para el consumo humano, su dosificación adecuada se presenta en la Tabla 17-3.

Al sistema de tratamiento actual se propone un rediseño que consta de: un vertedero rectangular el cual cumple dos funciones como medición del caudal y el provocar la mezcla rápida del coagulante con el agua; dos floculadores hidráulicos de flujo horizontal que consta de baffles o tabiques instaladas en el tanque para dirigir el sentido del flujo y proveer una floculación efectiva; un sedimentador de tasa alta cuyo propósito es la remoción de las partículas salidas de una suspensión mediante la fuerza de gravedad. Las especificaciones de estos procesos se encuentran en las Tablas 13-3, 14-3 y 15-3.



Además cabe señalar que de acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 12-3, el caudal de captación es de 106,93 l/s, mientras que el caudal actual de la planta es de 113 l/s, tomando como base para los demás cálculos del rediseño el caudal actual de la planta. En consecuencia a este caudal el costo de químicos utilizados al día es considerable, por ello su aplicación se efectuará específicamente en épocas de lluvia donde tiende a alterarse los parámetros o al mismo tiempo se puede aplicar durante un trayecto de 12 horas conforme a las horas donde más se consuma el líquido vital.

Con lo anteriormente descrito se evidencia que el sistema de tratamiento actual presenta 6 parámetros fuera de norma como son: 4 parámetros físico-químico y 2 parámetros microbiológicos, pero con el tratamiento y el rediseño propuesto estos parámetros cumplen los límites permisibles de la norma.

## CONCLUSIONES

- El diagnóstico del estado actual de la planta de tratamiento de agua potable del Sector Yawari del Cantón Archidona permitió determinar que el agua tratada distribuida a la población de la parte urbana y las comunidades Santa María, Santa Elena, Lushian, San Rafael, Sábata y San Diego presenta problemas con el tratamiento existente, no cumpliendo con las Normas INEN 1108:2014 “Agua Potable. Requisitos”.
- Al efectuar las caracterizaciones físico-químicos y microbiológicos del agua nos permitió determinar los parámetros que se encuentran fuera de la norma, como son: 2 parámetros microbiológicos (Coliformes fecales y totales), y 4 parámetros físico-químicos (color, turbiedad, hierro, fosfatos), además se puede identificar que los parámetros físico-químicos sobrepasan el límite solamente en épocas de lluvia, teniendo un color= 1126 unid Co/Pt, turbiedad= 248,9 NTU, hierro= 0,942 mg/l y fosfatos= 0,672 mg/l, y la presencia de coliformes totales y fecales presentes todo el tiempo, es decir estos parámetros sobrepasan los límites permisibles de la norma establecida, siendo un agua no apta para su consumo.
- Las variables de proceso que se utilizaron para el rediseño son: el caudal de la planta de tratamiento a fin de comprobar si su abastecimiento de agua está acorde a la población futura, la temperatura ya que es indispensable determinar el gradiente de velocidad y la viscosidad cinemática del fluido.
- Al proceso actual de la planta de potabilización se implementó 3 etapas para mejorar el tratamiento de agua potable, con los cálculos de ingeniería se diseñó: un mezclador de vertedero rectangular con un ancho de 0,50 m, una altura de 1,20 m, un largo de 2,808 m, en el cual se va añadir como coagulante el sulfato de aluminio al 1% y alcalinizante cal al 1% para producir una mezcla rápida, dos floculadores hidráulicos de flujo horizontal los mismos que serán de 15,40 m de largo interior y 3,25 m de ancho, un sedimentador de tasa alta el mismo que tendrá 16,5 m de largo y 3,3 m de ancho con un tiempo de retención de 32 min.

- Después de realizarse las pruebas de tratabilidad la dosificación adecuada para tratar el agua cruda es una dosis de 30 mg/l de sulfato de aluminio al 1% que actúa como coagulante, más una dosis de 15 mg/l de alcalinizante (cal al 1%) y 1,2 mg/l como desinfectante (hipoclorito de calcio) siendo este último aplicado después del agua tratada. Posteriormente se realizó la caracterización físico-químicos y microbiológicos del agua obteniendo los siguientes resultados: color= 6 unid Co/Pt, turbiedad= 2,94 NTU, hierro= 0,110 mg/l , fosfatos= 0,200 mg/l , coliformes totales 0 UFC/100ml y coliformes fecales 0 UFC/100ml. Siendo los porcentajes de eficiencia de: color= 99,01%, turbiedad= 97,74%, hierro= 92,95%, fosfatos= 67,21% coliformes totales 100% y coliformes fecales 100% cuyos resultados evidencian el cumplimiento de acuerdo a la Norma INEN 1108:2014.

## **RECOMENDACIONES**

- Aplicar el estudio realizado para mejorar el sistema actual de tratamiento de agua potable del Sector Yawari del Cantón Archidona, a uno de tipo convencional hidráulico con los procesos de mezcla rápida (coagulación), floculación y sedimentación a fin de proveer a los consumidores agua que cumpla con las normas de calidad vigente.
- Implementar un laboratorio de análisis físico-químico y microbiológico in situ, con la finalidad de monitorear constantemente el agua captada y el agua tratada, permitiéndonos identificar con facilidad los parámetros que se encuentren fuera de la norma para tomar las acciones correctivas.
- Realizar trimestralmente un mantenimiento y limpieza manual del sistema de potabilización, a fin de evitar la acumulación de lodos, los cuales pueden contaminar el agua.

## **BILIOGRAFÍA**

**AFORO EN CAUCE NATURAL** [En línea]. (Consulta: 2015-06-28)

Disponible en: [http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/hidro\\_mod1.htm](http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/hidro_mod1.htm)

**APHA, AWWA, WPCF.** Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 17<sup>a</sup> ed. Madrid-España. Díaz de Santos. 1992. Pp. 95-110

**ARBOLEDA, Jorge.** Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. 3<sup>a</sup> ed. Bogotá-Colombia. Editorial Mc. Graw Hill. 2000. Pp. 1-7.

**BRIÉFE, F.** Distribución de agua potable y colecta de desagües y de agua de lluvia. 1<sup>a</sup> ed. Montreal-Canadá. Editorial École Polytechnique. 2005. Pp.1-6.

**CALIDAD DEL AGUA** [En línea]. (Consulta: 2015-05-22)

Disponible en: [http://www.bdigital.unal.edu.co/70/3/45\\_-\\_2\\_Capi\\_1.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/70/3/45_-_2_Capi_1.pdf)

**DERECHO UNIVERSAL A UTILIZAR AGUA POTABLE** [En Línea]. (Consulta: 2015-04-21)

Disponible en: <http://danaanguiejuancrisjeni.blogspot.com/2011/09/derecho-universal-utilizar-agua-potable.html>

**ECUADOR. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (INEN).** Agua Potable. 5<sup>a</sup> Revisión. Quito-Ecuador. INEN. 2014. Pp.1-4.

**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE** [En Línea]. (Consulta: 2015-07-07)

Disponible en: [http://www.bdigital.unal.edu.co/877/1/15372239\\_2009.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/877/1/15372239_2009.pdf)

**HUDSON, N.** Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y la escorrentía. Roma-Italia. Editorial Viale delle terme di caracalla. 1997. P.57.

**SUIZA. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS).** Guías para la calidad del agua potable. 3<sup>a</sup> ed. S.l. Volumen I. 2006. Pp.192-202.

**RIGOLA, M.** Tratamiento de aguas industriales: Aguas de proceso y residuales. Barcelona-España. Editorial Alfaomega. 1989. P.31.

**ROMERO, Jairo.** Purificación del agua. 2ª ed. Bogotá- Colombia. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 2006. Pp.406-407.

**ROMERO, Jairo.** Potabilización del agua. 3ª ed. Bogotá-Colombia. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 1999. Pp.80-199.

**SIERRA, Carlos.** Calidad del agua, evaluación y diagnóstico. Medellín – Colombia. Universidad de Medellín. 2011. P.82.

**TRATAMIENTO DE AGUAS** [En Línea]. (Consulta: 2015-06-10)

Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/operacion/cap8.pdf>

## ANEXOS

### Anexo A.

#### Parámetros para el diseño

##### 1) Valores de la relación peso específico y viscosidad absoluta

Temperatura °C	$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}$
0	2336.940
4	2505.560
10	2736.530
15	2920.010
20	3114.640
25	3266.960

**Fuente:** Romero, Jairo. (2008)

**Elaborado por:** Byron Arequipa, 2015

## 2) Propiedades físicas del agua

A. PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA A 1 ATMÓSFERA				
Temperatura °C	Densidad $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Peso específico $\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	Viscosidad dinámica $\mu \cdot 10^3$ Pa · s	Viscosidad cinemática $\nu \cdot 10^6$ m <sup>2</sup> /s
0	999,842	9,805	1,787	1,787
3,98	1000,00	9,807	1,567	1,567
5	999,967	9,807	1,519	1,519
10	999,703	9,804	1,307	1,307
12	999,500	9,802	1,235	1,236
15	999,103	9,798	1,139	1,140
17	998,778	9,795	1,081	1,082
18	998,599	9,793	1,053	1,054
19	998,408	9,791	1,027	1,029
20	998,207	9,789	1,002	1,004
21	997,996	9,787	0,998	1,000
22	997,774	9,875	0,955	0,957
23	997,542	9,783	0,932	0,934
24	997,300	9,781	0,911	0,913
25	997,048	9,778	0,890	0,893
26	996,787	9,775	0,870	0,873
27	996,516	9,773	0,851	0,854
28	996,236	9,770	0,833	0,836
29	995,948	9,767	0,815	0,818
30	995,650	9,764	0,798	0,801
35	994,035	9,749	0,719	0,723
40	992,219	9,731	0,653	0,658
45	990,216	9,711	0,596	0,602
50	988,039	9,690	0,547	0,554
60	983,202	9,642	0,466	0,474
70	977,773	9,589	0,404	0,413
80	971,801	9,530	0,355	0,365
90	965,323	9,467	0,315	0,326
100	958,366	9,399	0,282	0,294

Fuente: Romero, J. Purificación del agua (2006)



## Anexo B.

### Número de rugosidad de Manning para diferentes materiales

Corrientes Naturales	Número de Manning
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lamina de agua suficiente	0,027-0,033
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lamina de agua suficiente, algo de vegetación	0,033-0,040
Limpias, meandros, embalses y remolinos de poca importancia	0,035-0,050
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados	0,060-0,080
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados, vegetación densa	0,100-0,2001
Rugosas, corrientes en terreno rocoso de montaña	0,050-0,080
Áreas de inundación adyacentes al canal ordinario	0,030-0,2001
Cunetas y Canales revestidos	Número de Manning
Hormigón	0,013-0,017
Hormigón revestido con gunita	0,016-0,022
Encachado	0,020-0,030
Paredes de hormigón, fondo de grava	0,017-0,020
Paredes encachadas, fondo de grava	0,023-0,033
Revestimiento bituminoso	0,013-0,016
Cunetas y canales sin revestir	Número de Manning
En tierra ordinaria, superficie uniforme y lisa	0,020 - 0,025
En tierra ordinaria, superficie irregular	0,025 - 0,035
En tierra con ligera vegetación	0,035 - 0,045
En tierra con vegetación espesa	0,040 - 0,050
En tierra excavada mecánicamente	0,028 - 0,033
En roca, superficie uniforme y lisa	0,030 - 0,035
En roca, superficie con aristas e irregularidades	0,035 - 0,045

Fuente: S.M. Woodward and C. J Posey. Hydraulics of steady flow in open channels

**Anexo C.**

**Norma NTE INEN 1108:2014**



**NORMA  
TÉCNICA  
ECUATORIANA**

**NTE INEN 1108**  
Quinta revisión  
2014-01

**AGUA POTABLE. REQUISITOS**

DRINKING WATER. REQUIREMENTS

---

Correspondencia:

Esta Norma Técnica Ecuatoriana es una adaptación de las Guías para la calidad del agua potable de la OMS, 4ta. Ed, 2011.

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	<b>AGUA POTABLE REQUISITOS</b>	NTE INEN 1108:2014 Quinta revisión 2014-01
---	------------------------------------	---

## 1. OBJETO

1.1 Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el agua potable para consumo humano.

## 2. CAMPO DE APLICACIÓN

2.1 Esta norma se aplica al agua potable de los sistemas de abastecimiento públicos y privados a través de redes de distribución y tanqueros.

## 3. REFERENCIAS NORMATIVAS

APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water World Association) y WEF (Water Environment Federation). *Métodos Estandarizados para el Análisis de Aguas y Aguas Residuales* (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater) en su última edición.

Ministerio de salud Pública. *REGLAMENTO DE BUENAS PRÁCTICAS DE MANUFACTURA PARA ALIMENTOS PROCESADOS* Decreto Ejecutivo 3253, Registro Oficial 696 de 4 de Noviembre del 2002

## 4. DEFINICIONES

4.1 Para efectos de esta norma se adoptan las siguientes definiciones:

4.1.1 **Agua potable.** Es el agua cuyas características físicas, químicas microbiológicas han sido tratadas a fin de garantizar su aptitud para consumo humano.

4.1.2 **Agua cruda.** Es el agua que se encuentra en la naturaleza y que no ha recibido ningún tratamiento para modificar sus características: físicas, químicas o microbiológicas.

4.1.3 **Límite máximo permitido.** Representa un requisito de calidad del agua potable que fija dentro del ámbito del conocimiento científico y tecnológico del momento un límite sobre el cual el agua deja de ser apta para consumo humano. Para la verificación del cumplimiento, los resultados se deben analizar con el mismo número de cifras significativas establecidas en los requisitos de esta norma y aplicando las reglas para redondear números, (ver NTE INEN 052).

4.1.4 **ufc/ml.** Concentración de microorganismos por mililitro, expresada en unidades formadoras de colonias.

4.1.5 **NMP.** Forma de expresión de parámetros microbiológicos, número más probable, cuando se aplica la técnica de los tubos múltiples.

4.1.6 **mg/l.** (miligramos por litro), unidades de concentración de parámetros físico químicos.

4.1.7 **Microorganismo patógeno.** Son los causantes potenciales de enfermedades para el ser humano.

4.1.8 **Plaguicidas.** Sustancia química o biológica que se utiliza, sola, combinada o mezclada para prevenir, combatir o destruir, repeler o mitigar: insectos, hongos, bacterias, nemátodos, ácaros, moluscos, roedores, malas hierbas o cualquier forma de vida que cause perjuicios directos o indirectos a los cultivos agrícolas, productos vegetales y plantas en general.

**4.1.9 Desinfección.** Proceso de tratamiento que elimina o reduce el riesgo de enfermedad que pueden presentar los agentes microbianos patógenos, constituye una medida preventiva esencial para la salud pública.

**4.1.10 Subproductos de desinfección.** Productos que se generan al aplicar el desinfectante al agua, especialmente en presencia de sustancias húmicas.

**4.1.11 Cloro residual.** Cloro remanente en el agua luego de al menos 30 minutos de contacto.

**4.1.12 Sistema de abastecimiento de agua potable.** El sistema incluye las obras y trabajos auxiliares contruidos para la captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y sistema de distribución.

**4.1.13 Sistema de distribución.** Comprende las obras y trabajos auxiliares contruidos desde la salida de la planta de tratamiento hasta la acometida domiciliaria.

## 5. REQUISITOS

**5.1** Los sistemas de abastecimiento de agua potable deberían acogerse al Reglamento de buenas prácticas de Manufactura (producción) del Ministerio de Salud Pública.

**5.2** El agua potable debe cumplir con los requisitos que se establecen a continuación, en las tablas 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7.

**TABLA 1. Características físicas, sustancias inorgánicas y radiactivas**

PARAMETRO	UNIDAD	Límite máximo permitido
<b>Características físicas</b>		
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	---	no objetable
Sabor	---	no objetable
<b>Inorgánicos</b>		
Antimonio, Sb	mg/l	0,02
Arsénico, As	mg/l	0,01
Bario, Ba	mg/l	0,7
Boro, B	mg/l	2,4
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Cianuros, CN <sup>-</sup>	mg/l	0,07
Cloro libre residual*	mg/l	0,3 a 1,5 <sup>†)</sup>
Cobre, Cu	mg/l	2,0
Cromo, Cr (cromo total)	mg/l	0,05
Fluoruros	mg/l	1,5
Mercurio, Hg	mg/l	0,006
Níquel, Ni	mg/l	0,07
Nitratos, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	50
Nitritos, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/l	3,0
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Radiación total α *	Bq/l	0,5
Radiación total β **	Bq/l	1,0
Selenio, Se	mg/l	0,04

<sup>†)</sup> Es el rango en el que debe estar el cloro libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos.

\* Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: <sup>210</sup>Po, <sup>224</sup>Ra, <sup>228</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>234</sup>U, <sup>238</sup>U, <sup>239</sup>Pu.

\*\* Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: <sup>60</sup>Co, <sup>88</sup>Sr, <sup>90</sup>Sr, <sup>132</sup>I, <sup>131</sup>I, <sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs, <sup>210</sup>Pb, <sup>226</sup>Ra.

TABLA 2. Sustancias orgánicas

	UNIDAD	Límite máximo permitido
<b>Hidrocarburos policíclicos aromáticos HAP</b>		
Benzo [a] pireno	mg/l	0,0007
<b>Hidrocarburos:</b>		
Benceno	mg/l	0,01
Tolueno	mg/l	0,7
Xileno	mg/l	0,5
Estireno	mg/l	0,02
1,2dicloroetano	mg/l	0,03
Cloruro de vinilo	mg/l	0,0003
Tricloroetano	mg/l	0,02
Tetracloroetano	mg/l	0,04
Di(2-etilhexil) ftalato	mg/l	0,008
Acrylamida	mg/l	0,0005
Epiclorohidrina	mg/l	0,0004
Hexaclorobutadieno	mg/l	0,0006
1,2Dibromoetano	mg/l	0,0004
1,4- Dioxano	mg/l	0,05
Acido Nitritotriacético	mg/l	0,2

TABLA 3. Plaguicidas

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Atrazina y sus metabolitos cloro-s-triazina	mg/l	0,1
Isoproturón	mg/l	0,009
Lindano	mg/l	0,002
Pendimetalina	mg/l	0,02
Pentaclorofenol	mg/l	0,009
Dicloroprop	mg/l	0,1
Alacoloro	mg/l	0,02
Aldicarb	mg/l	0,01
Aldrin y Dieldrin	mg/l	0,00003
Carbofuran	mg/l	0,007
Clorpirifós	mg/l	0,03
DDT y metabolitos	mg/l	0,001
1,2-Dibromo-3-cloropropano	mg/l	0,001
1,3-Dicloropropeno	mg/l	0,02
Dimetoato	mg/l	0,006
Endrin	mg/l	0,0006
Terbutilazina	mg/l	0,007
Clordano	mg/l	0,0002
Hidroxiatrazina	mg/l	0,2



TABLA 4. Residuos de desinfectantes

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Monocloramina,	mg/l	3
Si pasa de 1,5 mg/l investigar: N-Nitrosodimethylamine	mg/l	0,000 1

TABLA 5. Subproductos de desinfección

	UNIDAD	Límite máximo permitido
2,4,6-triclorofenol	mg/l	0,2
Trihalometanos totales	mg/l	0,5
Si pasa de 0,5 mg/l investigar:	mg/l	0,06
• Bromodichlorometano	mg/l	0,3
• Cloroformo		
Tricloroacetato	mg/l	0,2

TABLA 6. Cianotoxinas

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Microcistina-LR	mg/l	0,001

5.3 El agua potable debe cumplir con los siguientes requisitos microbiológicos.

TABLA 7. Requisitos Microbiológicos

	Máximo
Coliformes fecales (1): Tubos múltiples NMP/100 ml ó Filtración por membrana ufc/ 100 ml	< 1,1 * < 1 **
<i>Cryptosporidium</i> , número de ooquistes/ litro	Ausencia
<i>Giardia</i> , número de quistes/ litro	Ausencia
* < 1,1 significa que en el ensayo del NMP utilizando 5 tubos de 20 cm <sup>3</sup> ó 10 tubos de 10 cm <sup>3</sup> ninguno es positivo	
** < 1 significa que no se observan colonias	
(1) ver el anexo 1, para el número de unidades (muestras) a tomar de acuerdo con la población servida	

## 6. INSPECCIÓN

### 6.1 Muestreo

6.1.1 El muestreo para el análisis microbiológico, físico, químico debe realizarse de acuerdo a los métodos estandarizados para el agua potable y residual (Standard Methods).

6.1.2 El manejo y conservación de las muestras para la realización de los análisis debe realizarse de acuerdo con lo establecido en los métodos estandarizados para el agua potable y residual (Standard Methods).

Anexo D.

Especificación técnica del sulfato de aluminio

	<b>Hoja de Seguridad</b>	<b>FA 03 01</b>
	<b>SULFATO DE ALUMINIO</b>	<i>Ver. : 2</i>
		<i>20 Agosto de 2009</i>
		<i>Página 1 de 5</i>



Pictograma NFPA

1.IDENTIFICACION DEL MATERIAL Y DE LA COMPAÑIA

Nombre Químico:	Sulfato De Aluminio
Sinónimos:	Alumbre, Torta de Alumbre, Salmuera de Alumbre, Alumbre de perla
Formula:	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .14H <sub>2</sub> O
Familia Química:	Sales Inorgánicas
Registro CAS:	10043-01-1
Numero UN:	N.R
Información de la Compañía:	Nombre: Fujian Shan S.A. Dirección: Carretera central de Occidente Km 1.5 Vía Funza, Parque Industrial San Carlos, Etapa I Local 4
Teléfono de Emergencia:	5467000 – Funza

2.COMPOSICION E INFORMACION SOBRE INGREDIENTES

COMPONENTES	
Ingrediente	Sulfato Aluminio
CAS	10043-01-1
%	98 – 100
Peligroso	Si

3.IDENTIFICACION DE PELIGROS

Inhalación:	El Polvo puede causar carraspera, tos, irritación de la nariz y la garganta.
Ingestión:	Nauseas, Vomito.
Contacto con la Piel:	Irritación.
Contacto Ocular:	Irritación con posibles heridas permanentes.

4.PRIMEROS AUXILIOS

	<b>Hoja de Seguridad</b>	<b>FA 03 01</b>
	<b>SULFATO DE ALUMINIO</b>	<i>Ver. : 2</i>
		<i>20 Agosto de 2009</i> <i>Página 2 de 5</i>

Inhalación:	Trasladar al aire fresco. Si no respira administrar respiración artificial. Si respira con dificultad suministrar oxígeno. Mantener la persona abrigada en reposo. Buscar atención médica.
Ingestión:	Lavar la boca con agua. Si esta consciente, suministrar abundante agua. No inducir al vomito, si este se presenta inclinar la victima hacia adelante.
Contacto con la Piel:	Retirar la ropa y calzado contaminados. Lavar la zona afectada con abundante agua y jabón, mínimo durante 15 minutos. Si la irritación persiste repetir el lavado. Buscar Atención médica.
Contacto Ocular:	Lavar con abundante agua, mínimo durante 15 minutos. Levantar y separar los párpados para asegurar la remoción del químico.

#### 5.MEDIDAS CONTRA INCENDIOS

Peligros de Incendio y/o explosión: No inflamable ni combustible.  
 Productos de la combustión: Puede desprender gases tóxicos de óxidos de azufre a temperaturas superiores a 760 °C.  
 Precauciones: Eliminar toda fuente de calor que lo lleve a la combustión. No inhalar los gases producidos.  
 Procedimientos en caso de incendio y/o Explosión: Evacuar o aislar el área de peligro. Restringir el acceso a personas innecesarias y sin la debida protección. Estar a favor del viento. Usar equipo de protección personal.  
 Agentes Extintores del Fuego: Usar el agente de extinción adecuado según el tipo de incendio del alrededor.

#### 6.MEDIDAS PARA EL CONTROL DE DERRAMES Y FUGAS


Evacuar o aislar el área de peligro. Restringir el acceso a personas innecesarias y sin la debida protección. Usar equipo de protección personal. Ventilar el área. Eliminar toda fuente de ignición.

#### 7.MANUPULACION Y ALMACENAMIENTO

Almacenamiento: Lugares ventilados, frescos y secos. Lejos de fuentes de calor e ignición. Separado de materiales incompatibles. Rotular los recipientes adecuadamente y mantenerlos bien cerrados.  
 Manipulación: Usar siempre protección personal así sea corta la exposición o la actividad que realice con el producto. Mantener estrictas normas de higiene, no fumar ni comer en el sitio de trabajo. Usar las menores cantidades posibles. Conocer donde esta el equipo para la atención de emergencias. Leer las instrucciones de la etiqueta antes de usar el producto.

#### 8.CONTROL A LA EXPOSICION / PROTECCION PERSONAL



	<b>Hoja de Seguridad</b>	<b>FA 03 01</b>
	<b>SULFATO DE ALUMINIO</b>	<i>Ver. : 2</i>
		<i>20 Agosto de 2009</i>
		<i>Página 3 de 5</i>

Controles de Ingeniería:	Ventilación local y general, para asegurar que la concentración no exceda los límites de exposición ocupacional o se mantenga lo mas baja posible. Considerar la posibilidad de encerrar el proceso. Garantizar el control de las condiciones del proceso. Suministrar aire de reemplazo continuamente para suplir el aire removido.
<b>Equipos de Protección Personal</b>	
Respiratoria:	Respirador con Filtro para polvo.
Cutánea:	Overol, guantes, botas.
Ojos y Cara:	Gafas de seguridad.
Otro Tipo de Protección requerida:	Equipo de respiración autónomo.

#### 9.PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Estado Físico	Sólido Granulado
Apariencia y Olor	Blanco Sin Olor Característico
Concentracion como Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> * 14 H <sub>2</sub> O	100%
pH	3-4 en solución al 1% en agua
Temperatura de Descomposición	780 °C
Temperatura de auto ignición	No Aplicable
Punto de Inflamación	No Aplicable
Propiedades Explosivas	No Aplicable
Peligros de Fuego y Explosión	No Aplicable
Densidad de Vapor	No Detectable

## Anexo E.

### Especificación técnica del alcalinizante (Cal)

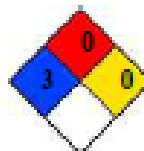
#### HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Nombre del Producto: CAL HIDRATADA

Fecha de Revisión: Febrero 2014. Revisión N°3



ONU  
UN3262



NFPA



HMIS

#### SECCION 1 : IDENTIFICACION DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑIA

##### PRODUCTO

Nombre Químico: Hidróxido de calcio

Número CAS: N/A

Sinónimos: CAL CAUSTICA, CAL APAGADA.

COMPAÑIA: GTM

#### SECCION 2 : COMPOSICION / INFORMACION SOBRE LOS INGREDIENTES

HIDROXIDO DE CALCIO

CAS: 1305-62-0

Concentración min 90%

HIDROXIDO MAGNESICO

CAS: 1309-42-8

OXIDO CALCICO

CAS: 1305-78-8

#### SECCION 3 : IDENTIFICACION DE PELIGROS

Clasificación ONU: Clase 3 Corrosivo

Clasificación NFPA: Salud: 3 Inflamabilidad: 0 Reactividad: 0

Clasificación HMIS: Salud: "3 Inflamabilidad: 0 Físico: 0

#### EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD:

Riesgos para la Salud:	Corrosivo, causa quemaduras intensas, tóxico, nocivo por inhalación. (Sílice Cristalina).
Seguridad:	<p>Esta MSDS cubre muchos tipos de cal hidratada, los componentes peligrosos varían de un tipo de cal a otro.</p> <p>La Cal hidratada es un polvo granular, blanco o gris, inodoro. No es combustible ni explosivo. Una sola exposición por corto tiempo al polvo seco presenta poco o ningún peligro. Una exposición lo suficientemente larga a la cal hidratada puede causar daño grave y potencialmente irreversible en los tejidos (piel, ojos, vías respiratorias) debido a quemaduras químicas (cáusticas), incluidas quemaduras de tercer grado.</p>
Contacto Ocular:	El polvo aéreo puede causar irritación o inflamación inmediata o demorada. El contacto ocular con grandes cantidades de polvo seco o con cal hidratada húmeda puede causar irritación ocular moderada, quemaduras químicas o ceguera. Las exposiciones oculares requieren primeros auxilios y en caso de que persista la irritación buscar atención médica para evitar daños importantes en el ojo.
Contacto Dérmico:	puede causar piel seca, molestias, irritación y quemaduras intensas. Acudir al médico si persiste la irritación.
Inhalación:	<p>Puede causar irritación en la nariz, garganta, o los pulmones e incluso asfixia, según el grado de exposición. La inhalación de altas concentraciones de polvo puede causar quemaduras químicas.</p> <p>Este producto contiene sílice cristalina, la inhalación prolongada o repetida a la sílice cristalina respirable de este producto puede causar silicosis. Buscar atención médica.</p>
Afecciones Médicas:	Las personas afectadas por enfermedad pulmonar (Bronquitis, enfisema, enfermedad pulmonar obstructiva crónica) pueden empeorar debido a la exposición.
Ingestión:	No ingerir cal hidratada, aunque no conste que la ingestión de pequeñas cantidades de cal hidratada sea nociva, grandes cantidades pueden causar quemaduras químicas en la boca, garganta, estómago y el tracto digestivo. Buscar atención médica.
Efectos Medioambientales:	Producto no biodegradable. Se supone peligroso para el medio ambiente.

#### SECCION 4: MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

<b>Contacto Ocular:</b>	Enjuagar los ojos meticulosamente con agua durante al menos 15 minutos, incluso debajo de los párpados, para eliminar todas las partículas. Obtener atención médica inmediata para abrasiones y quemaduras.
<b>Contacto Dérmico:</b>	Lavar la piel con agua fresca y un jabón de pH Neutro o un detergente suave para la piel. Obtener atención médica para erupciones, irritación y exposiciones desprotegidas prolongadas a cal hidratada húmeda, cemento, mezclas de cemento o líquidos que provienen del cemento húmedo.
<b>Inhalación:</b>	Llevar al paciente al aire fresco. Buscar atención médica si hay molestias o tos, o si los otros síntomas no desaparecen.
<b>Ingestión:</b>	No inducir al vómito. Si el paciente no ha perdido el conocimiento, hacerle a beber una cantidad abundante de agua. Buscar atención médica o ponerse en contacto con el centro de intoxicaciones inmediatamente.
<b>Nota para el Médico:</b>	<p>los tres tipos de silicosis incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Silicosis crónica simple (exposición mayor a 20 años), se caracteriza por falta de aliento y parecerse a la enfermedad pulmonar obstructiva crónica.</li><li>• Silicosis Acelerada (exposición de 5 a 15 años).</li><li>• Silicosis Aguda (exposición a corto plazo a cantidades muy grandes de sílice cristalina respirable), se caracteriza por que los pulmones se inflan mucho y pueden llenarse de fluido, causando una intensa falta de aliento y bajas concentraciones de oxígeno en la sangre. Puede presentarse una fibrosis masiva progresiva en la silicosis simple o acelerada pero es más común en la forma acelerada.</li></ul>

#### SECCION 5: MEDIDAS PARA EXTINCION DE INCENDIOS

<b>Medios de Extinción:</b>	Usar medios de extinción apropiados para el fuego circundante como espuma, polvo químico. No es combustible.
<b>Precauciones Especiales:</b>	Utilizar vestimenta adecuada. No emplear agua a presión. No representa ningún peligro asociado con incendios. Usar equipo autónomo para limitar exposiciones a productos combustibles al combatir cualquier incendio.
<b>Productos de Combustión:</b>	Ninguno

#### SECCION 6: MEDIDAS PARA FUGAS ACCIDENTALES

<b>Precauciones Personales:</b>	Evitar el contacto con la piel y los ojos. Llevar equipo de protección adecuado. Usar guante de caucho nitrilo.
<b>Precauciones Ambientales:</b>	Evitar la contaminación de desagües, aguas superficiales y subterráneas, así como del suelo.
<b>Métodos de Limpieza</b>	Colocar el material derramado en un recipiente. Evitar acciones que permitan que el aire levante la cal hidratada. Usar los EPP descritos más adelante. Raspar para juntar la cal hidratada húmeda y colocarla en un recipiente. Permitir que el material se seque o se solidifique antes de eliminarlo.
<b>Otra Información:</b>	No verter cal hidratada a sistemas de drenaje, ni en cuerpos de agua.

#### SECCION 7: MANEJO Y ALMACENAMIENTO

<b>Manipulación:</b>	Mantener seca la cal hidratada a granel y en bolsas hasta que se utilice. Apilar el material en bolsas de manera segura para evitar caídas. Movilizar la carga de manera segura y usar las medidas de control apropiadas.  Para evitar problemas de asfixia no entrar en un espacio cerrado como un silo, tolva o camión cerrado de transporte o cualquier otro contenedor que contenga cal hidratada.
<b>Almacenamiento:</b>	Almacenar en un lugar fresco, seco y bien ventilado. No almacenar cerca de materiales incompatibles. Mantener lejos de la humedad. No almacenar ni enviar en recipientes de aluminio.
<b>Materiales Recomendados:</b>	para la limpieza evitar acciones que permitan que el aire levante cal hidratada, como barrer en seco o usar aire comprimido.

#### SECCION 8: CONTROLES DE EXPOSICION Y PROTECCION PERSONAL

<b>Controles Técnicos:</b>	usar escape local o ventilación por dilución general u otros métodos de supresión para mantener concentraciones de polvo por debajo de los límites de exposición.
<b>Medidas de protección - EPP:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Ojos: Usar gafas de protección total aprobadas por ANSI; no se recomienda usar lentes de contacto en condiciones polvorientas.</li><li>- Piel: Utilizar guantes impermeables de caucho o nitrilo para evitar el contacto con la piel. Ropa protectora impermeable al agua. Quitarse la ropa y los EPP corporales que se saturen de cal hidratada.</li></ul>

## SECCION 9: PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Estado físico:	Sólido (Polvo).
Aspecto:	Polvo blanco o gris.
Olor:	Ninguno.
pH en Agua:	12 – 13 a 25C
Punto de Inflamación:	Ninguno
Auto inflamabilidad:	N/A
Presión de Vapor:	N/A
Densidad de Vapor:	N/A
Solubilidad en Agua:	Insignificante
Punto de Ebullición:	> 1000 grados centígrados.
Viscosidad:	Ninguna – Sólida.
Peso específico:	2.34

## SECCION 10 : ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad química:	Estable pero reacciona lentamente con dióxido de carbono para formar carbonato cálcico o magnésico. Mantener el producto seco hasta que se use. La cal hidratada puede reaccionar con el agua, provocando una pequeña liberación de calor, según la cantidad de cal (óxido cálcico) presente. Evitar el contacto con materiales incompatibles.
Incompatibilidad:	La cal hidratada y el cemento húmedos son alcalinos y son incompatibles con ácidos, sales amónicas, y metal aluminico. La cal hidratada y el cemento se disuelven en ácido fluorhídrico, produciendo gas de tetrafluoruro de silicio corrosivo. . La cal hidratada y el cemento reaccionan con el agua para formar silicatos e hidróxido cálcico. Los silicatos reaccionan con oxidantes potentes como flúor, trifluoruro de boro, trifluoruro de manganeso y difluoruro de oxígeno.
Polimerización peligrosa:	Ninguna.
Productos de Descomposición Peligrosa:	La cal hidratada se descompone a 340 grados centígrados, para producir óxido cálcico (cal viva), óxido magnésico y agua.

Anexo F.

Especificación técnica del hipoclorito de calcio (HTH)

		Página 1 de 6 Fecha de Revisión: 01-Nov-2013		MSDS No: 18	
<b>HIPOCLORITO DE CALCIO</b>					
<b>HOJA DE SEGURIDAD DE MATERIALES</b>					
<b>1. IDENTIFICACION DEL MATERIAL Y DE LA COMPAÑIA</b>					
<b>Nombre Comercial:</b>		Cloro Granulado			
<b>Nombre Químico:</b>		Hipoclorito de calcio			
<b>Formula Química:</b>		$\text{Ca}(\text{ClO})_2$			
<b>Nombre de la Comercializadora:</b>		QUIMPAC ECUADOR S.A.			
<b>Dirección de la Comercializadora:</b>		Km. 16.5 vía a Daule, Av. Rosavín y Cobre			
<b>TELEFONOS DE EMERGENCIA</b>					
QUIMPAC ECUADOR S.A.:		(593-4) 2162660-2162220 Ext. 330 099-9482-937 / 099-9500-081			
<b>2. IDENTIFICACION DE LOS RIESGOS</b>					
<b>ELEMENTO DE PROTECCION PERSONAL</b>			<b>CLASIFICACION SGA DE SUSTANCIA / MEZCLA</b>		
					
					
<b>ATENCIÓN</b> Provoca irritaciones cutáneas y oculares graves		<b>ATENCIÓN</b> Puede provocar daños en los órganos, (Sistema nervioso central, hígado y urinarios)			
				<b>UN: 1748</b>	



**GRADO DE RIESGO (NFPA 704)**

	(S) RIESGO A LA SALUD	(I) RIESGO DE INFLAMABILIDAD	(R) RIESGO DE REACTIVIDAD		(E) RIESGO ESPECIAL
	4 MORTAL	4 INFLAMABLE DEBAJO DE 25°C	4 PUEDE EXPLOTAR SUBITAMENTE	OXV	OXIDANTE
	3 EXTREMADAMENTE RIESGOSO	3 INFLAMABLE DEBAJO DE 37°C	3 PUEDE EXPLOTAR EN CASO DE CHOQUE O CALENTAMIENTO	ACID	ACIDO
	2 PELIGROSO	2 INFLAMABLE DEBAJO DE 93°C	2 INESTABLE EN CASO DE CAMBIO QUIMICO VIOLENTO	CORR	CORROSIVO
	1 POCO PELIGROSO	1 INFLAMABLE SOBRE LOS 93°C	1 INESTABLE SI SE CALIENTA.	ALC	ALCALINO
	0 SIN RIESGO	0 NO SE INFLAMA	0 ESTABLE	W	NO USAR AGUA

**3. COMPOSICION / INFORMACION DE INGREDIENTES**

Ingrediente(s) Peligroso(s)	% (p/p)	TLV	CAS N°
Hipoclorito de Calcio	67% mín.	No establecido	7778-54-3

**4. PRIMEROS AUXILIOS**

**Inhalación:** Mueva a la víctima a donde se respire aire fresco. Aplique respiración artificial si la víctima no respira, preferiblemente boca a boca. Suministre oxígeno si respira con dificultad. Mantenga a la víctima en reposo y con temperatura corporal normal. Obtenga atención médica inmediata.

**Ingestión:** Si el paciente está completamente consciente dele a beber grandes cantidades de agua, y después cualquier aceite vegetal. No induzca el vómito. Si el paciente está inconsciente, o tiene convulsiones, llévele inmediatamente al hospital. No intente inducir al vómito o dar algo por la vía oral a una persona que este inconsciente.

**Contacto con los ojos:** Lave inmediatamente los ojos con agua en abundancia durante mínimo 20 minutos, manteniendo los ojos abiertos. Acuda inmediatamente al médico.

**Contacto con la piel:** Lave inmediatamente con gran cantidad de agua, use jabón si hay disponible. Quite la ropa contaminada incluyendo zapatos, una vez que se ha comenzado el lavado. Lave la ropa antes de rehusar. Procure atención médica si la irritación persiste.

**5. MEDIDAS CONTRA FUEGO Y EXPLOSION**

**Incendio y Explosión:** Por sí solo no genera riesgos de fuego, pero esta sustancia es un agente oxidante fuerte y su calor de reacción con agentes reductores o combustibles puede causar ignición.

Este producto se descompone al calentarse e involucrado en un incendio puede



explotar. Con materiales orgánicos (hidrocarburos) o agentes oxidantes produce una reacción explosiva y puede encender otros materiales combustibles (madera, papel, telas, etc).

**Medio para extinguir el fuego:** Use abundante agua en forma de niebla o spray. Enfríe los recipientes expuestos al fuego. Evite el contacto directo del agua con el producto ya que la reacción con agua libera cloro gas. Combata el fuego a máxima distancia. No utilice polvo químico seco a base de compuestos de amonio ya que se puede dar lugar a una explosión. No permita que el agua fluya hacia alcantarillas o fuentes de agua.

**Nota para la brigada de emergencia:**

Utilice equipo de respiración autónomo a presión positiva y equipo de protección completo. No utilice extintores a base de tetracloruro de carbono o compuestos de amonio, ya que generarán explosión. El producto es sensible al impacto mecánico. Es inútil sofocar porque el producto genera su propio oxígeno. Enfríe los recipientes hasta mucho después de que el fuego se haya extinguido.

## 6. PROCEDIMIENTO EN CASO DE DERRAME ACCIDENTAL

Se debe tener cuidado extremado al manejar el material derramado. La contaminación con material orgánico o combustible puede causar incendio o descomposición violenta. Si ocurre incendio o descomposición cerca del lugar del derrame, inmediatamente empapar con bastante agua. de otra manera, barra todo el material visible con una pala y una escoba limpia y seca y disuelva el material en agua.

Este material debe ser usado inmediatamente en la aplicación normal para la cual se está consumiendo el hipoclorito de calcio. Si esto no es posible, neutralice con cuidado el material disuelto añadiendo agua oxigenada ( 474 cc de una solución al 35% de agua oxigenada por cada 454 g. de hipoclorito de calcio que va a ser neutralizado ) y entonces diluya el material neutralizado con bastante agua y báldeelo a la alcantarilla.

## 7. MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Evite el almacenamiento cerca de ácidos, compuestos oxidantes, amoniacales, alcoholes o hidrocarburos. Las áreas de almacenamiento deben ser limpias, frescas y libres de humedad. Evite el contacto con metales. Mantenga los recipientes bien cerrados, evite almacenarlos sobre pisos de madera y protéjalos de daños físicos e impactos. Los tambores no deberán ser apilados en más de dos paletas. No almacene en áreas sujetas a inundaciones. Las temperaturas de almacenamiento no pueden exceder los 57°C.

Tenga la precaución de mantener disponible una ducha de emergencia y una estación lavajos. Además se debe disponer de mecanismos de comunicación del riesgo químico. Los recipientes vacíos pueden ser peligrosos ya que contienen residuos.

## **8. MEDIDAS DE CONTROL DE EXPOSICIÓN / PROTECCION INDIVIDUAL**

**Ventilación:** Se recomienda un sistema local para evacuar gases y finos, que permita mantener libres de contaminantes al puesto de trabajo, previniendo la dispersión general en el área de trabajo.

**Protección respiratoria:** Utilice un respirador aprobado según NIOSH/OSHA, con filtro químico para gases ácidos, cuando puedan existir contaminantes suspendidos en el aire.

**Protección de la Piel:** Para casos de emergencias se requiere traje de PVC (En condiciones normales de operación: usar delantal de PVC), incluyendo botas de caucho, guantes de caucho, y casco protector.

**Protección de los ojos:** Use gafas plásticas de seguridad y en lugares susceptibles de salpicaduras utilice la mascarilla facial completa. Mantenga una ducha y un equipo para lavado de ojos en el lugar de trabajo.

## **9. PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS**

<b>Apariencia:</b>	Polvo o gránulos blancos
<b>Olor:</b>	Parecido al cloro
<b>Temperatura de descomposición:</b>	177 °C (El producto se descompone rápidamente)
<b>Densidad específica:</b>	2.35 g/cm <sup>3</sup>
<b>Solubilidad en agua:</b>	217 g/l. a 27 °C
<b>pH de las soluciones :</b>	alcalino

## Anexo G.

### Resultados de la caracterización del agua

#### Entrada a la planta

**ESPOCH**

LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS  
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703      Telefax: 2998200 ext 332      Riobamba - Ecuador

**INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS**

Solicitado por: Byron Patricio Arequipa Toapanta

Fecha de análisis: 09 de junio del 2015

Tipo de muestra: agua de consumo doméstico. Entrada a la planta

Localidad: Sector Yawari Cantón Archidona

**TRABAJO DE TESIS DE GRADO**

Código: LAT 040-15

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	und Co/Pt	< 15	607,00
pH	Unid	6,5 - 8,5	7,08
Conductividad	μ Siemens/cm	< 1250	27
Turbiedad	UNT	5	130,0
Cloruros	mg/L	250	5,7
Dureza	mg/L	200	8,0
Calcio	mg/L	70	1,6
Magnesio	mg/L	30 - 50	1,0
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	10,0
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	10,2
Aluminio	mg/L	0,2	0,035
Sulfatos	mg/L	200	22,0
Amonios	mg/L	< 0,50	0,140
Nitritos	mg/L	3	0,063
Nitratos	mg/L	50	0,02
Hierro	mg/L	0,30	1,560
Fluoruros	mg/L	1,5	-1,220
Fosfatos	mg/L	< 0,30	0,610
Sólidos Totales	mg/L	1000	216,0
Sólidos Disueltos	mg/L	500	14,4

\* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

Observaciones: Valores de color, turbiedad, hierro y fosfatos fuera de norma

Atentamente,

  
Dra. Gina Álvarez R. ESPOCH  
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

El resultado de análisis solo afecta la muestra analizada

#### Prueba de jarras

**ESPOCH**

LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS  
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703      Telefax: 2998200 ext 332      Riobamba - Ecuador

**INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS**

Solicitado por: Byron Patricio Arequipa Toapanta

Fecha de análisis: 10 de junio del 2015

Tipo de muestra: agua de consumo doméstico. Prueba de jarras

Localidad: Sector Yawari Cantón Archidona

**TRABAJO DE TESIS DE GRADO**


Código: LAT 040-15

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	und Co/Pt	< 15	6,00
pH	Unid	6,5 - 8,5	7,52
Conductividad	μ Siemens/cm	< 1250	167
Turbiedad	UNT	5	2,9
Cloruros	mg/L	250	19,9
Dureza	mg/L	200	28,0
Calcio	mg/L	70	6,4
Magnesio	mg/L	30 - 50	2,9
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	10,0
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	10,2
Aluminio	mg/L	0,2	0,139
Sulfatos	mg/L	200	30,0
Amonios	mg/L	< 0,50	0,010
Nitritos	mg/L	3	0,013
Nitratos	mg/L	50	0,02
Hierro	mg/L	0,30	0,110
Fluoruros	mg/L	1,5	-0,330
Fosfatos	mg/L	< 0,30	0,200
Sólidos Totales	mg/L	1000	20,0
Sólidos Disueltos	mg/L	500	89,0

\* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

Observaciones: Valores dentro de norma

Atentamente,

  
Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

El resultado de análisis solo afecta la muestra analizada

## Anexo H.

### Resultados de la caracterización del agua

#### Entrada a la planta

**ESPOCH**

LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS  
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703    Telefax: 2998200 ext 332    Riobamba - Ecuador

**INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS**

Solicitado por: Byron Patricio Arequipa Toapanta

Fecha de análisis: 01 de junio del 2015

Tipo de muestra: agua de consumo doméstico. Entrada a la planta

Localidad: Sector Yawari Cantón Archidona

**TRABAJO DE TESIS DE GRADO**

Código: LAT 040-15

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	und Co/Pt	< 15	189,00
pH	Unid	6.5 - 8.5	6.61
Conductividad	μ Siemens/cm	< 1250	40
Turbiedad	UNT	5	37,1
Cloruros	mg/L	250	6,4
Dureza	mg/L	200	16,0
Calcio	mg/L	70	6,4
Magnesio	mg/L	30 - 50	0,0
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	20,0
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	20,4
Sulfatos	mg/L	200	15,0
Amonios	mg/L	< 0.50	0.000
Nitritos	mg/L	3	0.021
Nitratos	mg/L	50	0.01
Hierro	mg/L	0.30	0.530
Fluoruros	mg/L	1.5	-0.250
Fosfatos	mg/L	< 0.30	0.480
Sólidos Totales	mg/L	1000	228,0
Sólidos Disueltos	mg/L	500	21,0

\* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

Observaciones: Valores de color, turbidez, hierro y fosfatos fuera de norma

Atentamente,

  
Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. ANALISIS TÉCNICOS



El resultado de análisis solo afecta la muestra analizada

#### Pruebas de jarras

**ESPOCH**

LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS  
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703    Telefax: 2998200 ext 332    Riobamba - Ecuador

**INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS**

Solicitado por: Byron Patricio Arequipa Toapanta

Fecha de análisis: 02 de junio del 2015

Tipo de muestra: agua de consumo doméstico. Prueba de jarras

Localidad: Sector Yawari Cantón Archidona

**TRABAJO DE TESIS DE GRADO**

Código: LAT 040-15

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	und Co/Pt	< 15	12,00
pH	Unid	6.5 - 8.5	6.94
Conductividad	μ Siemens/cm	< 1250	35
Turbiedad	UNT	5	4,9
Cloruros	mg/L	250	6,4
Dureza	mg/L	200	32,0
Calcio	mg/L	70	9,6
Magnesio	mg/L	30 - 50	1,9
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	10,0
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	10,2
Sulfatos	mg/L	200	32,0
Amonios	mg/L	< 0.50	0.050
Nitritos	mg/L	3	0.005
Nitratos	mg/L	50	0,01
Hierro	mg/L	0.30	0.080
Fluoruros	mg/L	1.5	-0.140
Fosfatos	mg/L	< 0.30	0.100
Sólidos Totales	mg/L	1000	20,0
Sólidos Disueltos	mg/L	500	47,0

\* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

Observaciones: Valores dentro de norma

Atentamente,

  
Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. ANALISIS TÉCNICOS



El resultado de análisis solo afecta la muestra analizada



## Anexo I.

### Resultados microbiológicos

**SAQMIC**  
Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos  
en Aguas y Alimentos

**EXAMEN MICROBIOLÓGICO DE AGUA** **CÓDIGO 337-15**

**CLIENTE:** Sr. Byron Arequipa  
**DIRECCIÓN:** Planta de agua potable del sector Yawari  
**TIPO DE MUESTRA:** Agua de consumo, tanques de distribución entrada  
**FECHA DE RECEPCIÓN:** 09 de junio del 2015  
**FECHA DE MUESTREO:** 09 de junio del 2015

**EXAMEN FÍSICO**  
**COLOR:** Incoloro  
**OLOR:** Inoloro  
**ASPECTO:** Presencia de sólidos, muy poco

PARÁMETROS	MÉTODO	VALOR REFERENCIAL	RESULTADO
Coliformes totales UFC/100mL	Filtración por membrana	---	756
Coliformes fecales UFC/100mL	Filtración por membrana	<1	615

**NORMA INEN 1108:2011**  
**OBSERVACIONES:**

**FECHA DE ANÁLISIS:** 09 de junio del 2015  
**FECHA DE ENTREGA:** 12 de junio del 2015  
**RESPONSABLES:**

  
Dra. Gina Álvarez R.

  
Dra. Fabiola Villa

El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo, el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.

Dirección: Av. 11 de Noviembre y Milán Reyes (Cerca de la Nueva Puerta Espoch - Facha)  
Contactos: 0994580374 - 0544648617 - 032942322 - 032960260  
Arequipa - Ecuador

**SAQMIC**  
Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos  
en Aguas y Alimentos

**EXAMEN MICROBIOLÓGICO DE AGUA** **CÓDIGO 350-15**

**CLIENTE:** Sr. Byron Arequipa  
**DIRECCIÓN:** Planta de agua potable del sector Yawari  
**TIPO DE MUESTRA:** Agua tratada y clorada  
**FECHA DE RECEPCIÓN:** 10 de junio del 2015  
**FECHA DE MUESTREO:** 10 de junio del 2015

**EXAMEN FÍSICO**  
**COLOR:** Incoloro  
**OLOR:** Inoloro  
**ASPECTO:** Libre de material extraño

PARÁMETROS	MÉTODO	VALOR REFERENCIAL	RESULTADO
Coliformes totales UFC/100mL	Filtración por membrana	---	Ausencia
Coliformes fecales UFC/100mL	Filtración por membrana	<1	Ausencia

**NORMA INEN 1108:2011**  
**OBSERVACIONES:**

**FECHA DE ANÁLISIS:** 10 de junio del 2015  
**FECHA DE ENTREGA:** 12 de junio del 2015  
**RESPONSABLES:**

  
Dra. Gina Álvarez R.

  
Dra. Fabiola Villa

El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo, el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.

Dirección: Av. 11 de Noviembre y Milán Reyes (Cerca de la Nueva Puerta Espoch - Facha)  
Contactos: 0994580374 - 0544648617 - 032942322 - 032960260  
Arequipa - Ecuador

Anexo J.

Resultados microbiológicos

**SAQMIC**  
Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos  
en Aguas y Alimentos

**EXAMEN MICROBIOLÓGICO DE AGUA** **CÓDIGO 332-15**


CLIENTE: Sr. Byron Anequipa  
DIRECCIÓN: Planta de agua potable del sector Yawari  
TIPO DE MUESTRA: Agua de consumo, tanque de distribución entrada  
FECHA DE RECEPCIÓN: 04 de junio del 2015  
FECHA DE MUESTREO: 04 de junio del 2015


**EXAMEN FÍSICO**  
COLOR: Incoloro  
OLOR: Inoloro  
ASPECTO: Presencia de sólidos, muy poco

PARÁMETROS	MÉTODO	VALOR REFERENCIAL	RESULTADO
Coliformes totales UFC/100mL	Filtración por membrana	---	20
Coliformes fecales UFC/100mL	Filtración por membrana	<1	Ausencia

NORMA INEN 1108:2011  
OBSERVACIONES:

FECHA DE ANÁLISIS: 04 de junio del 2015  
FECHA DE ENTREGA: 08 de junio del 2015  
RESPONSABLES:

  
Dra. Gina Álvarez R.

  
Dra. Fabiola Villa

El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo, el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.

Director: Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes (Cerca de la Nueva Puente Espich - Fado)  
Contactos: 0988580374 - 0984648617 - 032942322 - 032903280  
Píscara - Ecuador

**SAQMIC**  
Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos  
en Aguas y Alimentos

**EXAMEN MICROBIOLÓGICO DE AGUA** **CÓDIGO 333-15**


CLIENTE: Sr. Byron Anequipa  
DIRECCIÓN: Planta de agua potable del sector Yawari  
TIPO DE MUESTRA: Agua de consumo, tanque de distribución salida  
FECHA DE RECEPCIÓN: 04 de junio del 2015  
FECHA DE MUESTREO: 04 de junio del 2015


**EXAMEN FÍSICO**  
COLOR: Incoloro  
OLOR: Inoloro  
ASPECTO: Presencia de sólidos, muy poco

PARÁMETROS	MÉTODO	VALOR REFERENCIAL	RESULTADO
Coliformes totales UFC/100mL	Filtración por membrana	---	Ausencia
Coliformes fecales UFC/100mL	Filtración por membrana	<1	Ausencia

NORMA INEN 1108:2011  
OBSERVACIONES:

FECHA DE ANÁLISIS: 04 de junio del 2015  
FECHA DE ENTREGA: 08 de junio del 2015  
RESPONSABLES:

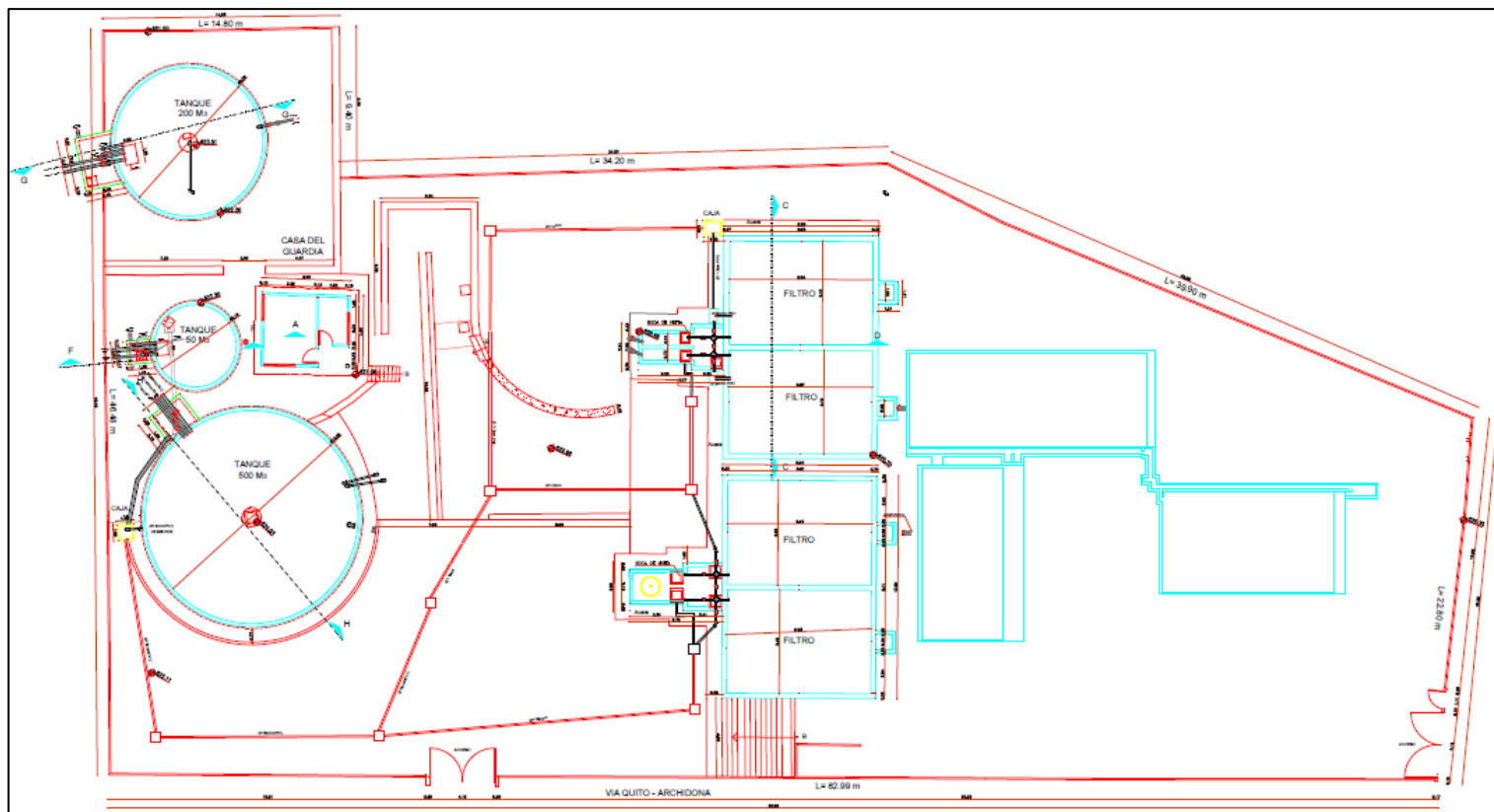
  
Dra. Gina Álvarez R.

  
Dra. Fabiola Villa

El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo, el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.

Director: Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes (Cerca de la Nueva Puente Espich - Fado)  
Contactos: 0988580374 - 0984648617 - 032942322 - 032903280  
Píscara - Ecuador

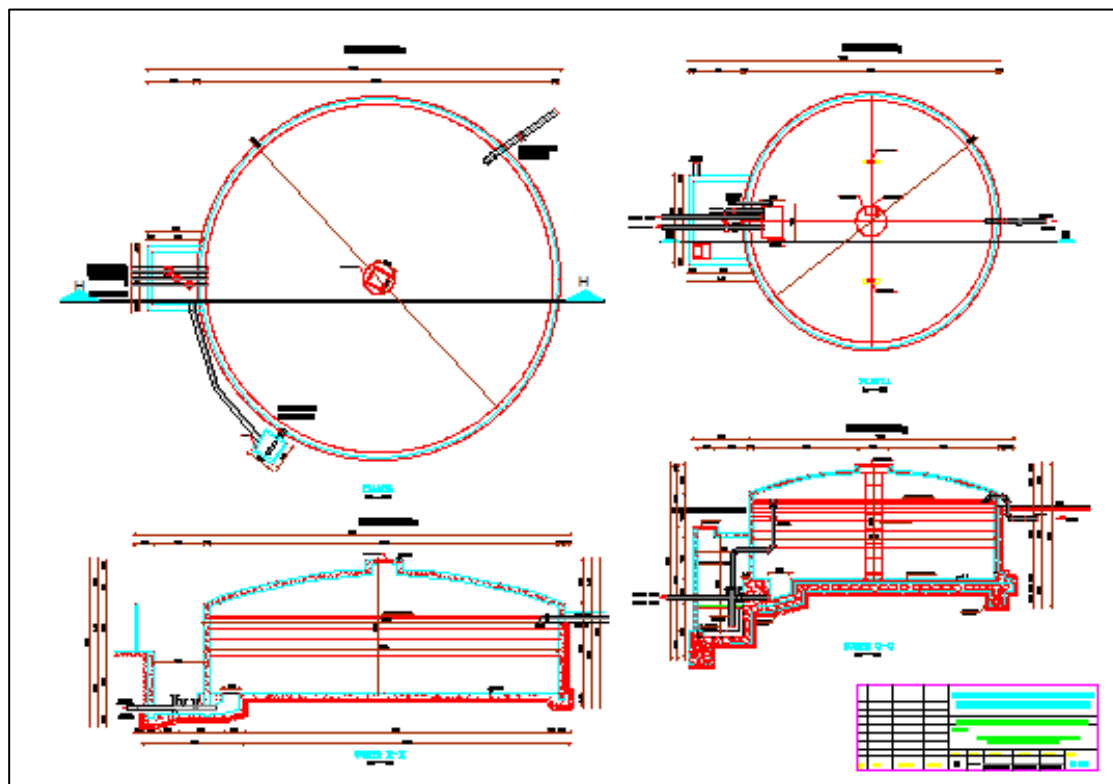
### Planta actual



<b>NOTAS</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b>	<b>ESPOCH</b>			
	POR UTILIZAR ( )    POR ELIMINAR ( ) POR APROBAR ( )    POR CALIFICAR ( ) PARA INFORMACIÓN (X)	FACULTAD DE CIENCIAS INGENIERÍA QUÍMICA BYRON AREQUIPA	<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
			01		25/ 11/ 2015

## Anexo L

### Planos de tanques de almacenamiento



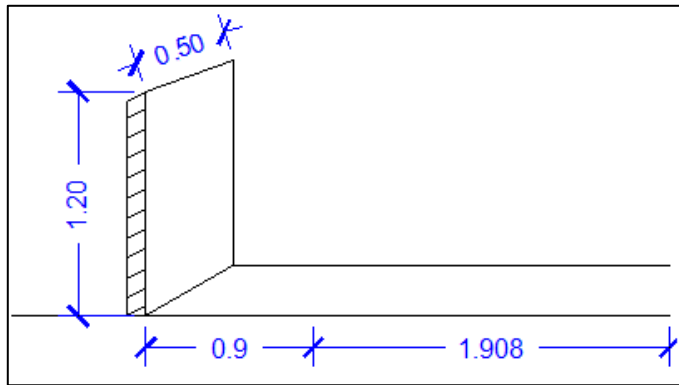
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS INGENIERÍA QUÍMICA BYRON AREQUIPA			
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
	POR UTILIZAR ( )    POR ELIMINAR ( ) POR APROBAR ( )    POR CALIFICAR ( ) PARA INFORMACIÓN (X)		02		25/ 11/ 2015



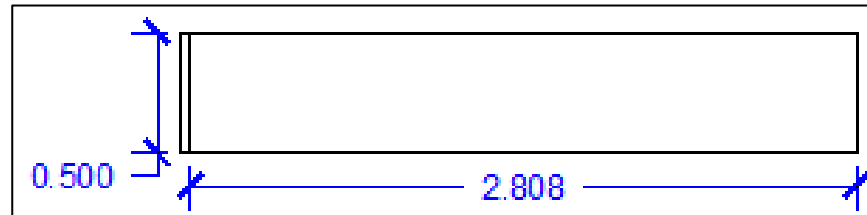
## Anexo M

### Mezclador - vertedero rectangular

Perspectiva



Vista planta

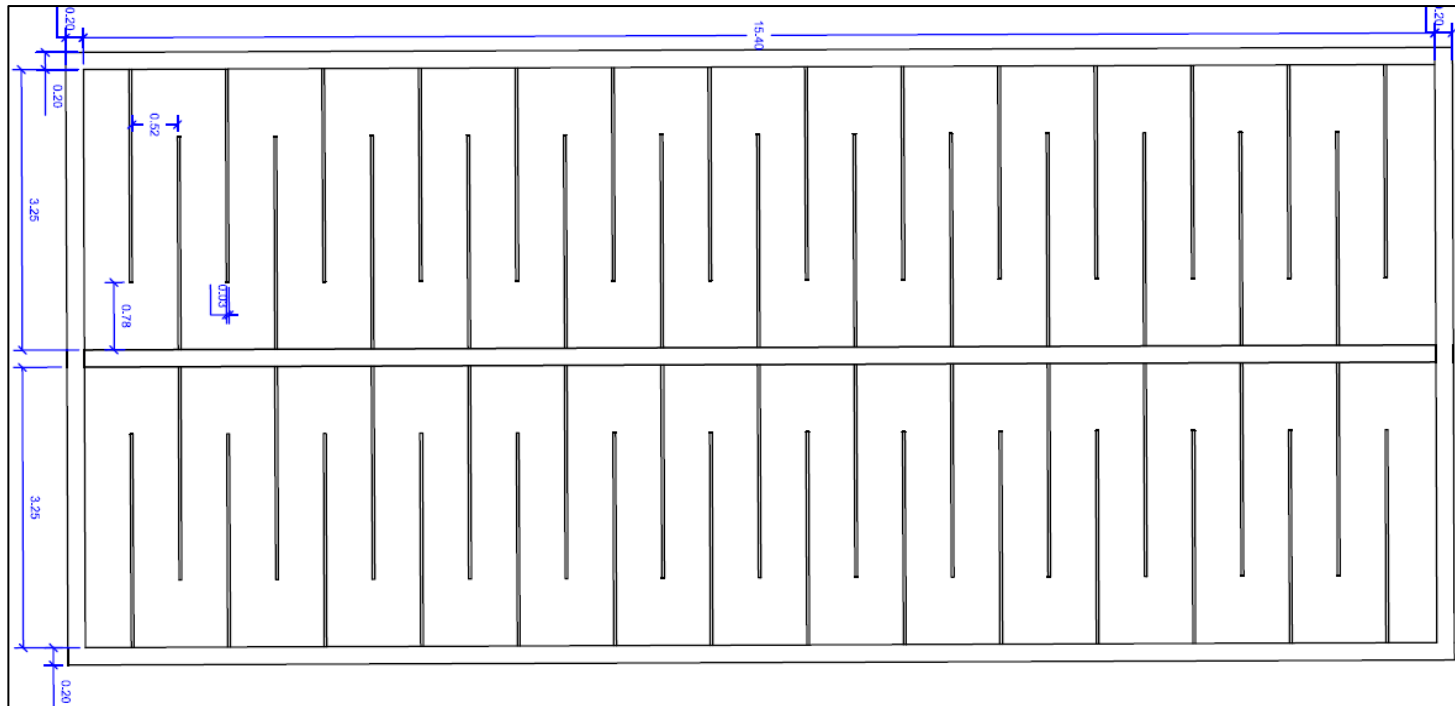


NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS INGENIERÍA QUÍMICA BYRON AREQUIPA			
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
	POR UTILIZAR ( )    POR ELIMINAR ( ) POR APROBAR ( )    POR CALIFICAR ( ) PARA INFORMACIÓN (X)		03		25/ 11/ 2015

## Anexo N

### Floculador hidráulico de flujo horizontal

#### Vista de la planta

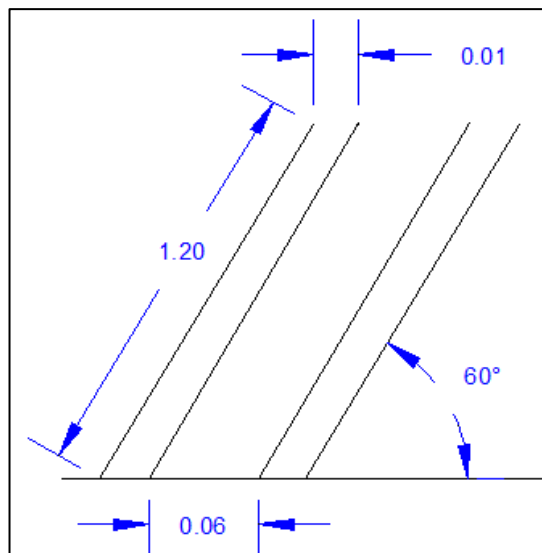


NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS INGENIERÍA QUÍMICA BYRON AREQUIPA			
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
	POR UTILIZAR ( )    POR ELIMINAR ( ) POR APROBAR ( )    POR CALIFICAR ( ) PARA INFORMACIÓN (X)		04		25/ 11/ 2015

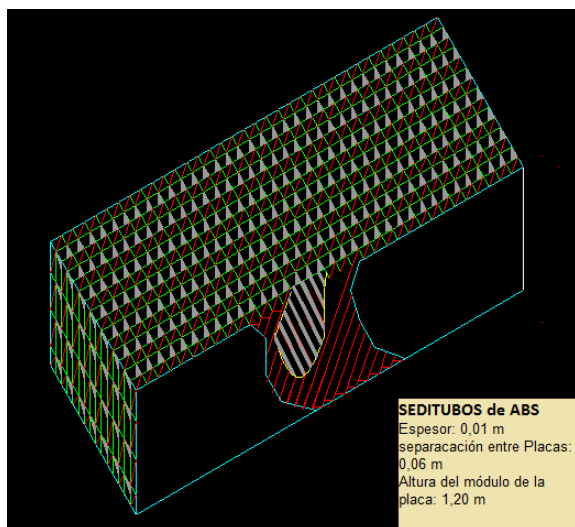
## Anexo O

### Sedimentador de tasa alta

#### Dimensiones de las placas del sedimentador



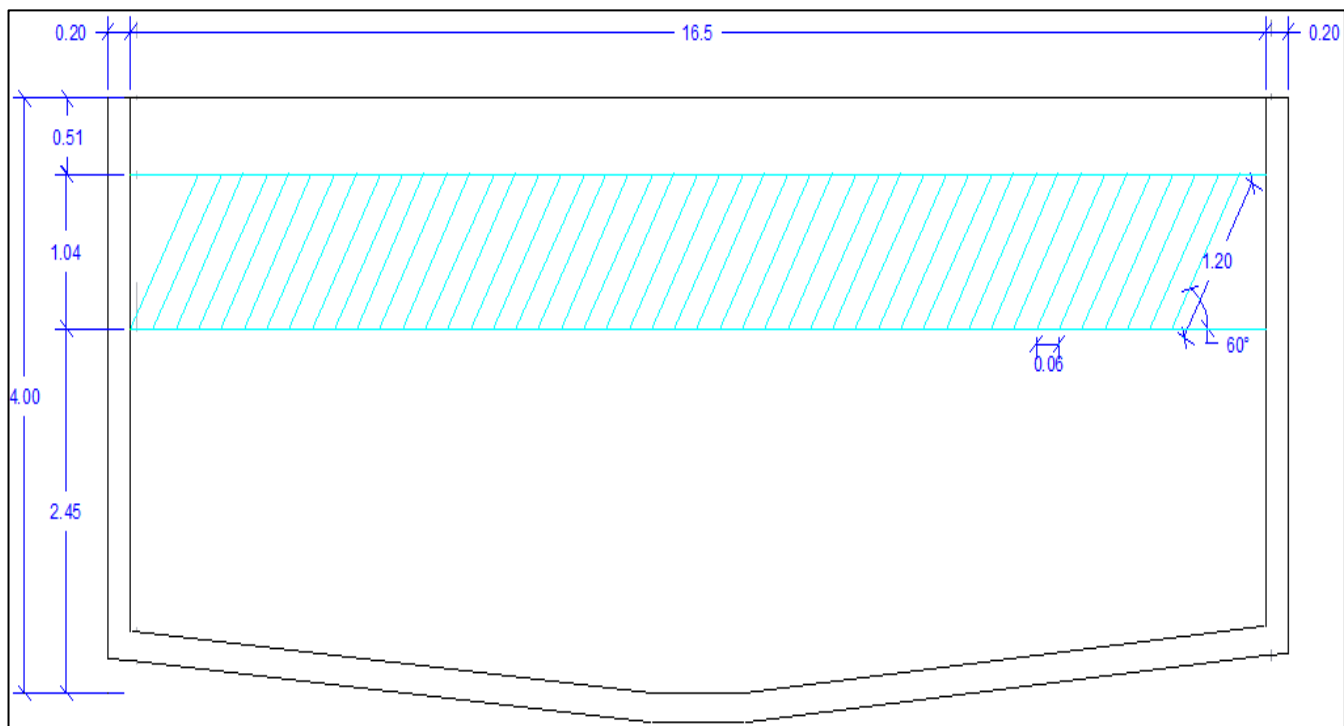
#### Módulo de los seditubos ABS



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS INGENIERÍA QUÍMICA BYRON AREQUIPA			
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
	POR UTILIZAR ( )    POR ELIMINAR ( ) POR APROBAR ( )    POR CALIFICAR ( ) PARA INFORMACIÓN (X)		05		25/ 11/ 2015

## Anexo P

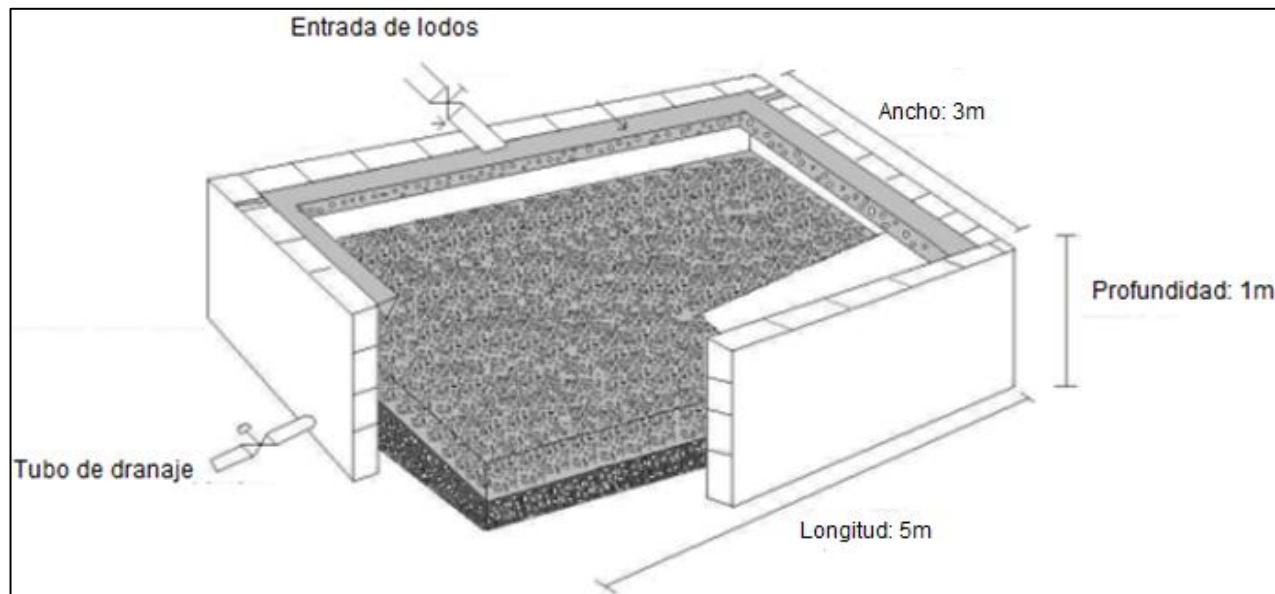
### Vista frontal del sedimentador



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS INGENIERÍA QUÍMICA BYRON AREQUIPA			
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
	POR UTILIZAR ( )    POR ELIMINAR ( ) POR APROBAR ( )    POR CALIFICAR ( ) PARA INFORMACIÓN (X)		06		25/ 11/ 2015

## Anexo Q

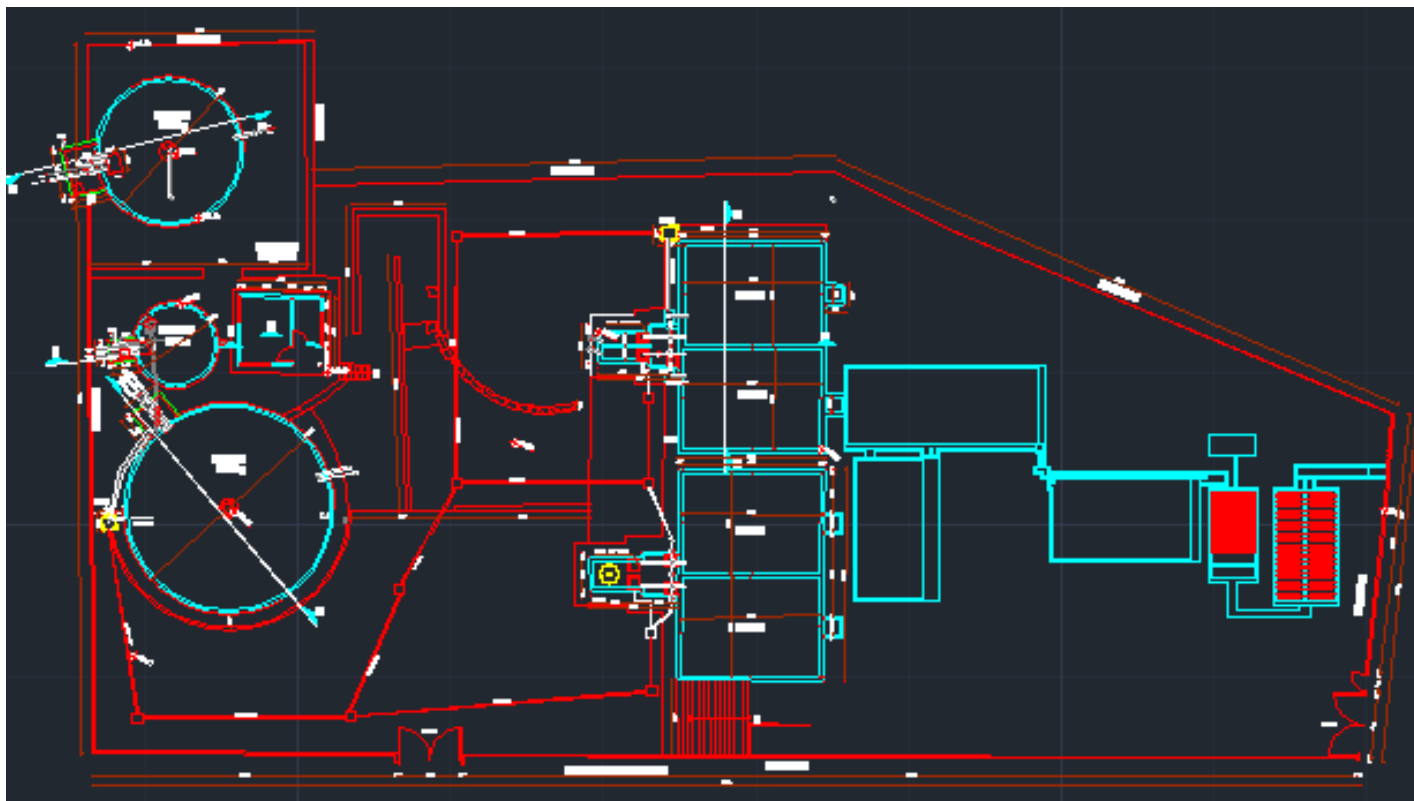
### Lecho de secado



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS INGENIERÍA QUÍMICA BYRON AREQUIPA			
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
	POR UTILIZAR ( )    POR ELIMINAR ( ) POR APROBAR ( )    POR CALIFICAR ( ) PARA INFORMACIÓN (X)		07		25/ 11/ 2015

## Anexo R

### Plano de la propuesta



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS INGENIERÍA QUÍMICA BYRON AREQUIPA			
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
			08		25/ 11/ 2015

## Anexo S.

### Preparación del sulfato de aluminio y cal

